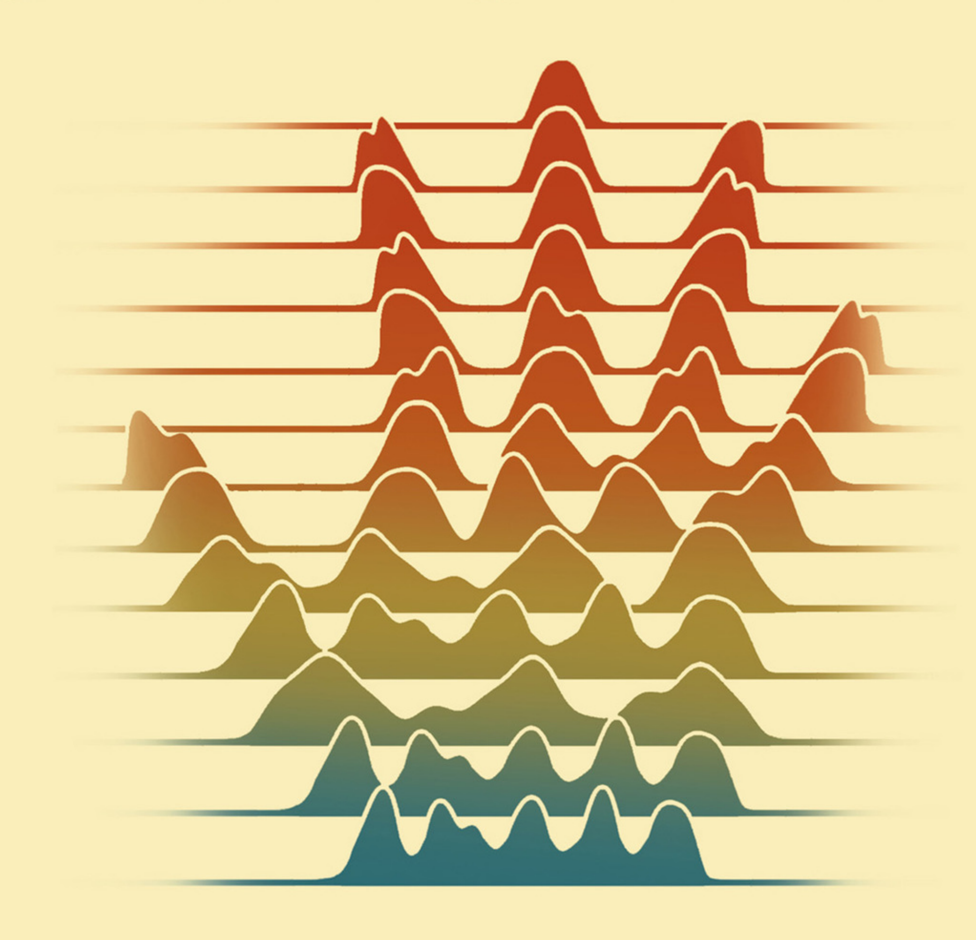
Дэвид Линден

BIG IDEAS

ОСЯЗАНИЕ



ЧУВСТВО, КОТОРОЕ ДЕЛАЕТ НАС ЛЮДЬМИ

Наша жизнь состоит из прикосновений...
Больше знать о механизме осязания — значит лучше понимать, кто мы такие и в каком мире живем.

The Guardian

Big Ideas

Дэвид Линден

Осязание. Чувство, которое делает нас людьми

Издательство «Синдбад»
2015

УДК 159.9.015
ББК 88.37

Линден Д.

Осязание. Чувство, которое делает нас людьми / Д. Линден — Издательство «Синдбад», 2015 — (Big Ideas)

ISBN 978-5-00131-066-2

Мы привыкли верить своим глазам и ушам, но не всегда отдаем себе отчет в том, что огромный объем информации получаем не через них, а через кожу. Осязание – самое древнее из чувств. И зрение, и слух возникли в ходе эволюции гораздо позже. Установлено, что человеческий эмбрион уже в материнской утробе способен осязать окружающий мир.Профессор неврологии и известный популяризатор науки Дэвид Линден увлекательно и доступно – буквально «на пальцах» – объясняет, как работают сложные механизмы осязания, а заодно разбирает его многочисленные загадки. Почему перец кажется нам жгучим, а мята – холодной? Почему мы боимся щекотки, если нас щекочет кто-то другой, и не реагируем на нее, если пытаемся пощекотать себя сами? Что на самом деле происходит там, где чешется? Чем оргазм принципиально отличается от других мышечных спазмов, например чихания?В книге Дэвида Линдена читатель найдет ответы на эти и многие другие вопросы.

УДК 159.9.015
ББК 88.37

ISBN 978-5-00131-066-2

Содержание

Дэвид Линден
Осязание. Чувство, которое делает нас людьми

Памяти профессора Стивена Сяо, блестящего исследователя осязания, истинного друга, человека с руками, сердцем и мозгом

Внимает душа, сливается плоть —
Где благо пребудет скорей?[1]
У. Б. Йейтс. Вторая песня госпожи. 1938

Видеть – значит верить, но лишь осязание отражает истину.
Томас Фуллер. Гномология. 1732

David Linden
TOUCH
The Science of Hand, Heart and Mind

Научный редактор д.б.н. *Елена Чевкина*

Пролог

Малибу, лето 1975 года

Восемь подростков в лесном лагере поздно вечером жмутся вокруг костра. Сбившись в кучу, словно щенята, оставив позади скалы, леса и пыльную грязь гор Санта-Моники, мы вдыхаем запахи медоносного шалфея, желудей и нестираных футболок. И под мягким покровом темноты, вдали от взрослых, даем волю своим потаенным мыслям поры половой зрелости.

– Твоя очередь, Сэм.

– Ладно… вопрос к Кэролайн. Что бы ты выбрала: поцеловать взасос директора лагеря или съесть живого таракана?

Наши голоса сливаются в греческий хор, исполненный радости и отвращения:

– Дааа!

– Фу, какой ты грубый, Сэм. Не буду отвечать.

– Тебе придется. Такие правила.

– Ну уж нет, ты, извращенец.

– А ты колючка. Я и не думал задеть твои чувства.

– Как же!

– Ну тогда нормальный вопрос. Ты бы лучше умерла от холода в Антарктиде или от жары в Сахаре?

– Парку в Антарктиду взять нельзя?

– Нет, будешь голой.

– Тогда лучше пустыня. Хоть умру загорелой.

Следует добродушный свист. Кэролайн машет рукой, пытаясь унять друзей.

Сэм улыбается:

– Какая ты тщеславная. Ладно… Мне пора.

Все знают, что он притворяется. Ясно, что он без ума от Кэролайн.

– Ну уж нет, скользкий сукин ты сын. Теперь *моя* очередь. Ты должен отказаться от всех чувств, кроме одного. Какое выберешь?

– О боже, тяжелый выбор. Я бы оставил зрение. Хоть осмотреться можно. Или нет, лучше слух – не могу без музыки. Блин, не знаю я. Это просто жесть.

– Да уж.

– Я тронут твоей заботой.

– Да пошел ты.

Потом, лежа в спальном мешке и обдумывая этот полуфлирт, полуперепалку, я очень удивлялся. Нас переполняли гормоны, и мы бешено нуждались в прикосновениях, поцелуях, объятиях и многом другом. Я вел себя достаточно типично: меня так поглощала мысль о том, чтобы обнять и поцеловать милую темноволосую девушку по имени Лорелея, что я еле мог говорить. Осязание играло ключевую роль в наших наваждениях и фантазиях, но ни один из нас не выбрал это чувство, когда ночь за ночью в игре «А что бы ты лучше сделал» то и дело всплывал вопрос Кэролайн. Может, мы не до конца все осознавали? Разумеется, стайка похотливых недосыпающих гиперактивных подростков у костра – не лучшая компания для серьезных размышлений. Или мы просто хорошо представляли, каково было бы лишиться зрения или слуха (ведь все мы регулярно закрываем глаза или затыкаем уши), даже вкуса или обоняния, но никто из нас не в состоянии был воссоздать последствия потери осязания. Возможно, осязание было так тесно вплетено в наше самовосприятие, что мы не сумели бы вообразить жизнь без него. Спустя годы, когда я читал «Лолиту», оказалось, что Владимир Набоков, как всегда, затронул этот вопрос много лет назад: «Но не странно ли, что чувство осязания, которое

бесконечно менее ценится человеком, чем зрение, не только теряется реже всего, но становится в критические минуты нашим главным, если не единственным, критерием действительности».

Для набоковского Гумберта Гумберта прикосновение было настолько драгоценным опытом, что даже самый незначительный тактильный контакт с его любимой Лолитой порождал море ощущений. Для всех нас осязательные ощущения по природе своей эмоциональны, что отражается в общепринятых выражениях. Прочтите разговор, с которого начинается глава, и отметьте такие фразы, как «я *тронут* твоей заботой», «я и не думал *задеть* твои чувства», а также осязательные метафоры: «ты *грубый*», «*скользкий* сукин сын». А ведь они вполне обычны! Мы привыкли описывать широкий спектр человеческих эмоций, действий и черт характера при помощи осязательных ощущений:

«Меня тронула ее заботливость».

«Очень скользкая ситуация».

«Хватит грубой ругани».

«Проблема стоит жестко».

«Он меня раздражает».

В повседневной речи тактильные ощущения так тесно переплетены с эмоциональными, что эмоционально неуклюжего человека мы называем нечутким, то есть буквально «лишенным осязания».

Вопрос может показаться глупым, хотя это не так: почему мы называем эмоции *ощущениями*, а не *видениями* или *обоняниями*? Действительно ли осязательные метафоры способны что-то рассказать нам о связи кожных ощущений с человеческим сознанием или это просто укоренившиеся примеры современного обыденного языка? В английском языке выражения «я тронут» в значении «я испытываю эмоциональное воздействие» и «мои ощущения» в значении «мои эмоции» используются по меньшей мере с XIII века. И они не уникальны ни для английского языка, ни даже для индоевропейской языковой семьи: они бытуют в таких разных языках, как баскский и китайский.

У людей слепых или глухих от рождения по большей части нормально развиваются тело и мозг (во всех зонах, кроме визуальной или слуховой), они способны жить богатой и плодотворной жизнью. Но если лишить новорожденного социальных прикосновений, как это было в 1980–1990-е годы в румынских сиротских приютах, где отчаянно недоставало персонала, то произойдет катастрофа: рост замедлится, разовьются компульсивное раскачивание и другие способы самоуспокоения, а при отсутствии своевременной помощи – и расстройства настроения, мышления и самоконтроля, которые сохраняются и в зрелые годы. К счастью, на раннем этапе даже сравнительно незначительное вмешательство – час в день осязательного контакта со стороны воспитателя – позволит побороть эту ужасную перспективу. Осязание – не второстепенная часть развития человека. Наше детство длится дольше, чем у любого другого животного: пятилетний отпрыск любого зверя способен жить самостоятельно. Если наше долгое детство не наполнить осязательным контактом, особенно со стороны тех, кто нас любит, последствия окажутся самыми неприятными.

Критически важную роль осязания в раннем развитии осознавали не всегда. Американский психолог Джон Уотсон, основатель бихевиоризма, в 1920-е годы советовал родителям не слишком баловать детей ласками: «Пусть ваше поведение неизменно будет объективным и доброжелательно твердым. Никогда не обнимайте и не целуйте детей. Не позволяйте им сидеть у вас на коленях. Если нужно, целуйте их раз в день в лоб – когда они желают вам спокойной ночи. Утром пожимайте им руки. Если они особенно хорошо справились со сложным заданием, гладьте их по голове».[2]

[2] Далее Уотсон пишет: «Попытайтесь. Примерно через неделю вы поймете, как относиться к своему ребенку и максимально

Хотя большинство современных родителей в общении с детьми не ограничиваются поглаживанием по голове, за пределами семьи дело обстоит совсем иначе. Дабы обезопасить детей от сексуально озабоченных взрослых, мы ввели запреты на прикосновения для учителей, тренеров и других педагогов, и это решение, принятое из самых добрых побуждений, производит необратимый эффект, усугубляя осязательную депривацию наших детей. Когда эти дети вырастут в среде неприятия прикосновений и распространят те же страхи на собственных детей, все наше общество подвергнется дальнейшему обеднению.

Вы спросите: «Понятно, что дети чувствительны, но, когда мы становимся взрослыми, какое значение имеет осязательная депривация? Все эти нежности и объятия хороши для хиппи и бездельников. Просто вылейте себе на руки еще порцию антисептика (с хорошо знакомым и успокаивающим хлюпающим звуком) и возвращайтесь к работе». Ответ таков: межличностное осязательное взаимодействие – важнейший способ склеивания социума. Оно способно превратить сексуальных партнеров в постоянные пары. Оно укрепляет связи между родителями и детьми, между братьями и сестрами. Оно сплачивает соседей и коллег, порождая благодарность, сочувствие и доверие. Люди, к которым официант слегка прикасается в ресторане, обычно оставляют больше чаевых. Врачи, которые дотрагиваются до своих пациентов, считаются более заботливыми, а у их пациентов снижается уровень гормонов стресса и прогноз становится более благоприятным. Даже у людей, стоящих с папками в торговых центрах, больше шансов на то, что вы подпишете их петицию или согласитесь ответить на вопросы, если они слегка дотронутся до вашей руки.

Главная цель этой книги – не просто доказать, что осязание – это хорошо или даже что осязание – это важно. Я скорее стремлюсь объяснить организацию нашей системы осязания – от кожи к нервам и мозгу, – сложной, странной и подчас парадоксальной, и показать, насколько сильно эта система влияет на нашу жизнь. От потребительского выбора до взаимоотношений полов, от использования инструментов до хронической боли и ее исцеления – гены, клетки и нейронные цепи, связанные с чувством осязания, необходимы для порождения уникального опыта каждого человека.

Специфика осязания объясняется его элементами, сформированными за миллионы лет эволюции. Это, например, кожные рецепторы с двумя функциями, благодаря которым мы ощущаем холодок от мяты и жар от перца чили. Это особые нервные волокна, из-за которых нам нравится, когда нас гладят (но только с соответствующей скоростью). Это специализированные мозговые центры эмоционального осязания, без которых оргазм был бы простым мышечным спазмом вроде чихания или судороги. И как бы мы ни считали, что все жестко фиксировано и предопределено, те же самые центры эмоционального осязания – это перекрестки нервов, где сталкиваются ощущения и ожидания, а их корректируют наши воспоминания, культурный и контекстуальный опыт. Активность этих зон мозга определяет, будет ли то или иное прикосновение воспринято как приятное или неприятное. Представьте себе ласку вашего возлюбленного во время приятного, тихого совместного времяпрепровождения – или сразу после того, как он или она сказали вам что-то резкое и грубое. Эти же зоны работают, когда эффект плацебо, гипнотическое внушение или простое предвкушение событий умеряют или увеличивают боль. Собственно говоря, чисто осязательных ощущений не существует, потому что, когда мы воспринимаем прикосновение, оно уже смешано с другими ощущениями, ожиданиями и изрядным количеством эмоций. К счастью, эти процессы перестали быть тайной. В последние годы произошел прорыв в нашем понимании осязания. Появились новые идеи, которые помо-

объективно, и при этом по-доброму. Вам станет стыдно за ваше прежнее тошнотворно-сентиментальное поведение. Чтобы вырастить из щенка сторожевую или охотничью собаку – кого угодно, кроме комнатной собачонки, – нельзя обращаться с ним так, как вы обращаетесь со своим ребенком».

гают объяснить наше самоощущение и восприятие мира. Итак, давайте нырнем в теорию. Вода не такая уж холодная – стоит только привыкнуть. Вам понравится.

Глава 1
Кожа как социальный орган

Варшава, 1915 год

Соломона Аша переполняло возбуждение. Семилетнему мальчику разрешили не ложиться спать и остаться на его первый пасхальный седер. В теплом свете свечей он заметил, что бабушка наливает вино в лишний бокал.

– Для кого это? – спросил Соломон.

– Для пророка Илии, – объяснил дядя.

– Он и правда придет и выпьет с нами вина?

– Конечно, – ответил дядя. – Смотри сам: придет время, и мы откроем ему двери.

Семья в расширенном составе собралась за столом и стала читать отрывок из Агады, в котором излагается история освобождения евреев из египетского плена во времена Моисея. В полном соответствии с Талмудом читали молитвы, пили вино, макали петрушку в соленую воду, полулежа, как свободные люди в древности, ели праздничный ужин. После ужина, как требует традиция, открыли дверь, чтобы встретить пророка. Секундой позже Соломон, горевший нетерпением и пораженный пасхальными ритуалами, увидел, что граница между вином и воздухом в том самом лишнем бокале немного сдвинулась вниз, как если бы Илия пригубил вино, прежде чем выскользнуть из дома, спеша к другим еврейским семьям.

Соломон Аш вместе с семьей эмигрировал в Нью-Йорк в возрасте тринадцати лет и вскоре выучил английский, читая романы Чарльза Диккенса. Повзрослев, он увлекся психологией, особенно социальной психологией, и в 1932 году в Колумбийском университете защитил диссертацию в этой области (рис. 1.1).

Много лет спустя он связывал свой интерес к этой науке с тем, что испытал в детстве в ту пасхальную ночь. Как благодаря коллективной вере празднующих седер он тоже поверил в то, что пророк сделал глоток вина? Его интерес не был чисто академическим. С приходом к власти Гитлера и подъемом нацизма в Европе Аша стали все больше беспокоить два взаимосвязанных социально-политических вопроса, которые он изучал в течение всей карьеры: как общество формирует нашу веру в случае явных свидетельств обратного? И как мы мгновенно оцениваем характер другого человека? «Мы смотрим на человека, и у нас тут же возникает впечатление о его характере. Взгляда, нескольких слов достаточно, чтобы рассказать нам об очень сложной проблеме. Мы знаем, что подобные впечатления складываются удивительно быстро и легко. Дальнейшие наблюдения способны подтвердить или опровергнуть первое впечатление, но мы не в силах его предотвратить, как не можем не воспринимать какой-то визуальный объект или не слышать мелодию»,[3] – писал он.

[3] Хорошо бы современные авторы научных исследований изъяснялись так четко и выразительно.

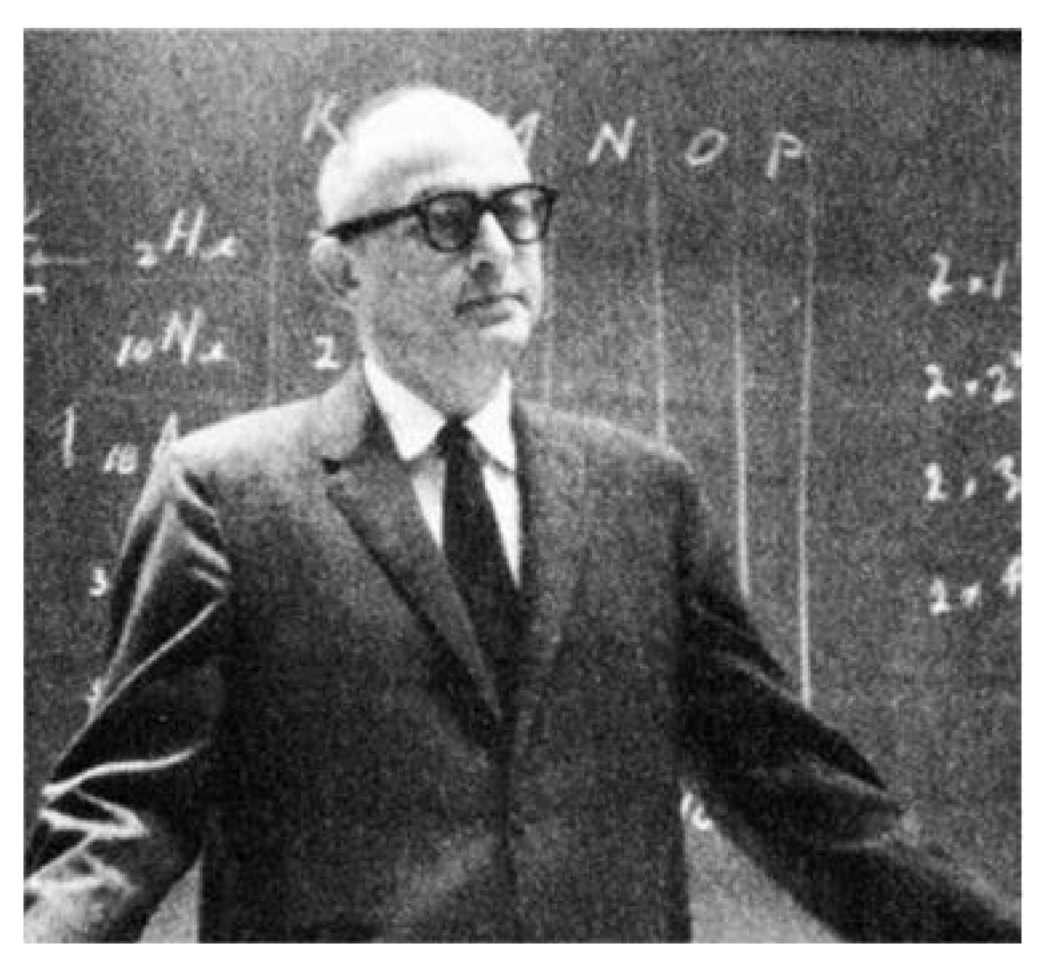


Рис. 1.1.

Соломон Аш, ведущий специалист в области социальной и гештальтпсихологии. Фотография сделана в 1950-е годы, когда Аш был профессором психологического факультета Суортмор-колледжа. Он умер в 1996 году в возрасте 88 лет.

Публикуется с разрешения Исторической библиотеки Суортмор-колледжа

Аш хотел понять, существуют ли глубинные принципы, лежащие в основе формирования мгновенного впечатления о человеке. В конце концов, все, с чем мы сталкиваемся, обладает большим количеством разнообразных характеристик. Так, один человек храбр, умен, за словом в карман не лезет, порывист в движениях, но при этом еще и серьезен, энергичен, терпелив и вежлив. Другой – медлительный, осмотрительный, серьезный, но порой мгновенно приходит в ярость. Как сочетаются такие воспринимаемые черты, формируя общее впечатление о человеке и позволяя нам экстраполировать и предсказывать его поведение в различных обстоятельствах? Сходятся ли все индивидуальные черты вместе и тем самым определяют наше восприятие, или же одна или несколько отдельных черт берут верх над другими, заслоняя их и создавая общее впечатление? И как это сказывается на восприятии крупных публичных фигур вроде Гитлера, Черчилля и Рузвельта, с которыми непосредственно взаимодействовали немногие?

В 1943 году, в разгар Второй мировой войны, Аш провел эксперимент, призванный ответить на эти вопросы. Он набрал испытуемых – в основном это были молодые женщины – с младших курсов психологических факультетов различных университетов Нью-Йорка, таких как Бруклинский и Хантерский колледжи. «Я зачитаю вам ряд определений, которые относятся к конкретному человеку, – заявил он одной собранной таким образом группе. – Пожалуйста, внимательно послушайте и постарайтесь составить впечатление о человеке. Потом вас попросят в нескольких предложениях дать его краткую характеристику. Я буду читать список

медленно и дважды повторять каждое определение: умный… умелый… изобретательный… холодный… решительный… практичный… осторожный». Второй группе прочли тот же список за единственным исключением: слово «холодный» заменили на «теплый». Группа, где прозвучало слово «холодный», предложила примерно такую характеристику: «Очень амбициозный и талантливый человек, который никому не позволит стать у себя на пути к поставленной цели. Следует собственной дорогой. Никогда не сдается, что бы ни случилось». Члены же «теплой» группы написали: «Человек, который верит в определенные ценности, хочет объяснить свое видение остальным, честен в спорах, но стремится доказать собственную точку зрения». После этого испытуемых попросили описать свои впечатления, выбрав одно прилагательное из пары антонимов (великодушный/мелочный, общительный/необщительный, человечный/безжалостный, слабый/сильный, надежный/ненадежный и честный/нечестный) для характеристики «холодного» и «теплого» индивидуумов. После анализа ответов и применения соответствующих статистических тестов оказалось, что разграничение «холодный/теплый» очень значимо. Человека, названного теплым, чаще описывали как великодушного, общительного и человечного, в то время как холодный индивидуум рассматривался как мелочный, необщительный и безжалостный. Однако теплого не характеризовали чаще как надежного, сильного или честного, что показывало: «теплый» дескриптор не приводил к общему позитивному сдвигу восприятия во всех направлениях. Восприятие человека как «теплого» скорее вызывало в уме определенный набор качеств: способность прийти на помощь, дружелюбие и, что важнее всего, добросовестность. Проще говоря, «теплых» людей не воспринимают как угрозу.[4]

Последующие эксперименты и внелабораторные наблюдения Аша и многих других исследователей показали, что противопоставление «холодный/теплый» – главный источник формирования как первого впечатления о человеке (на втором месте – противопоставление «компетентный/некомпетентный»), так и групповых стереотипов о многих странах и культурах.[5] Почему мы так реагируем на лингвистическую метафору теплого человека? Очень похоже на то, что у нее – глубокие биологические корни. Мы часто используем термины, знакомые по сенсорному опыту, для создания абстрактных психологических понятий. И в нашей частной жизни, и в истории эволюции человечества физическое ощущение тепла, по большей части благодаря материнским прикосновениям, ассоциируется с безопасностью, доверием и отсутствием угрозы.

Модель формирования впечатлений Аша вызывает очевидный вопрос: связана ли теплота физическая с метафорической? Например, активирует ли у взрослых обычное тактильное восприятие теплоты чувство межличностного тепла, которое переносится и на оценку неизвестного нам человека? Чтобы исследовать этот вопрос, Лоуренс Уильямс и Джон Барг из Колорадского и Йельского университетов соответственно провели хитрый эксперимент. Сотрудница экспериментаторов встречала испытуемых в вестибюле здания факультета психологии. Эта сотрудница (которая, что важно, ничего не знала о сути эксперимента) держала в руках много вещей: стакан с кофе, папку с бумагами, пару тетрадей. Во время подъема на лифте на пятый этаж она обычным тоном просила каждого испытуемого подержать стакан с кофе, пока она записывает информацию об участнике исследования в таблицу, прикрепленную к папке с документами. Затем она забирала кофе и провожала участника к экспериментаторам. В одних случаях в стакане был горячий кофе, в других – кофе со льдом. Когда испытуемые

---

[4] Мы называем безэмоциональных и потенциально опасных людей «хладнокровными». Многим из нас легко представить себе эмоциональную жизнь теплокровных (гомойотермных) млекопитающих – обезьян, собак и кошек. Но при этом нам кажется, что холоднокровные – рыбы, ящерицы, змеи – э-э-э, «хладнокровные». Хотя нам мало известно об эмоциональной жизни холоднокровных (пойкилотермных) животных, не стоит считать, что она подобна нашей или, напротив, вообще отсутствует.

[5] Это имеет смысл в рамках двухчастной модели оценки. Сначала нужно отличить врага от друга (или, по крайней мере, неврага), а затем оценить, способно ли это существо причинить вам вред.

прибывали в лабораторию, им сразу же давали опросник личностной оценки, напоминающий тот, что использовал Аш в оригинальном исследовании 1943 года, но без оппозиции «холодный/теплый» (например, человек А описывался как умный, умелый, изобретательный, решительный, практичный и осторожный).

Затем участников просили оценить вымышленного персонажа по десяти параметрам, используя описанный выше метод антонимов (человечный/безжалостный, честный/бесчестный и т. д.). Оказалось, что участники, которых просили подержать горячий кофе, считали описываемого персонажа значительно более теплым (человечным, достойным доверия, дружелюбным), чем те, кому давали глясе. Удивительно, но краткое воздействие физической теплоты на кожу рук и впрямь вызывало теплоту межличностную.[6]

Связано ли влияние случайных тактильных ощущений на нашу оценку незнакомых людей именно с теплом, которое вызывает сильные положительные эмоциональные ассоциации, или же все сказанное относится к осязательным ощущениям в целом? Способны ли иные прикосновения воздействовать на наше подсознательное восприятие людей и ситуаций? Учитывая богатство тактильных метафор в языке – «весомые обстоятельства», «тяжесть ситуации», «гладко прошедшие переговоры», «жесткий делец», – Джон Барг, на этот раз вместе с Джошуа Аккерманом и Кристофером Носерой, решил проверить эту более смелую гипотезу.

Сначала испытуемых просили оценить резюме кандидата на должность, вложенное в легкую или тяжелую папку (340 граммов против 2041 грамма – вес среднего ноутбука). Испытуемые, получившие тяжелую папку, оценивали кандидата как намного более компетентного в целом и проявляющего значительно больше интереса к предлагаемой должности. Тактильное ощущение от тяжелой папки подсознательно заставляло считать кандидата имеющим больше достоинств и более серьезные намерения. Важно отметить, что тяжесть папки не изменяла подсознательных впечатлений по всем пунктам: например, кандидата не считали более или менее склонным ладить с коллегами. Тяжелая папка скорее подчеркивала именно серьезность намерений.[7]

Под впечатлением от метафор типа «грубый ответ» группа Барга перешла к исследованию текстур. Одних прохожих просили собрать простой пазл, кусочки которого были покрыты наждачной бумагой, а другим выдавали такой же пазл, но с гладкой поверхностью. Затем всем участникам предлагали прочитать отрывок, описывающий социальное взаимодействие, в котором ситуация была заведомо неоднозначной. Когда участников исследования просили оценить качество взаимодействия в отрывке, те, кто получал пазл с грубой текстурой, описывали взаимодействие как гораздо более враждебное (а не дружественное), более конкурентное (а не согласованное), более напоминающее ссору, а не обсуждение. Физический контакт с грубой текстурой изменил оценку социального взаимодействия: оно стало более «грубым» метафорически.[8]

Наконец, было проведено еще одно подобное исследование применительно к тактильной оппозиции «жесткий/мягкий». Здесь психологи воспользовались антуражем фокуса. Испытуемых попросили посмотреть фокус и попытаться угадать, в чем его секрет. Им предлагалось изучить предмет, который будет использован в трюке, – якобы чтобы убедиться, что его целост-

[6] Важно отметить, что, как и в исследовании Аша 1946 года, теплая чашка кофе не вызывала общего эффекта ореола. На характеристики личности, которые не ассоциируются с теплом или холодом (например, надежность/ ненадежность и честность/нечестность), температура кофе не влияла.

[7] Полезно отметить, что более тяжелая папка не просто вызывала более серьезную активацию сенсоров кожи, но и требовала большего сжатия мышц руки, которые обладают собственными рецепторами и связями с мозгом. Этот вопрос будет рассмотрен подробнее в последующих главах.

[8] Участников также просили оценить степень знакомства вымышленных персонажей прочитанных отрывков (насколько близко они знакомы, носит их знакомство личный или деловой характер), и на этот показатель тактильный опыт никак не влиял.

ность не нарушена. Одни прохожие в процессе ощупывали мягкие ткани, другие – твердый кусок дерева.

После этого трюк откладывался, а участников просили прочитать то же самое намеренно двусмысленное описание социального взаимодействия, что и в предыдущем исследовании гладкой/ грубой текстуры, но на этот раз им сказали, что оно произошло между сотрудником и его начальником. Те, кому пришлось трогать твердое дерево, в ответ на просьбу описать сотрудника чаще характеризовали его как прямого и непреклонного человека, что соответствовало метафоре жесткости при описании неподатливой, безэмоциональной личности. (А фокус – увы! – никому так и не показали.)

Тот факт, что даже случайный тактильный опыт способен оказывать влияние на впечатления людей и наше социальное взаимодействие, нельзя не признать довольно обескураживающим. Как бы отреагировала та милая умная женщина, с которой я болтал в 1983 году в *Caffe Med* в Беркли, если бы держала в руке стаканчик с горячим кофе, а не с холодной содовой? А как насчет того странного декана факультета, который машинально сжимал резиновый мячик, проводя со мной собеседование? Если бы он играл с канцелярским ножом, что бы он обо мне подумал: что у меня более острый ум или что я просто человек жесткий и неподатливый?

Хотя исследования случайных касаний Барга были хорошо организованы, а их результаты – полезны и интересны, у них есть свои недостатки. Прежде всего, они не передают впечатлений, полученных в реальных ситуациях. Такого рода эксперименты требуют, чтобы подсознательно сформированные впечатления были переведены в сознательные и явные, а реакция участников соответствовала заранее установленной исследователем шкале. Это неестественная ситуация. В повседневной жизни мы постоянно формируем представления о людях и ситуациях, но вовсе не проходимся одновременно по табличкам, оценивая человека как «гуманного или безжалостного», а ситуацию – как спор либо ссору. Вот почему важно исследовать социальную функцию прикосновений в контексте повседневности.

Трудно найти лучшую живую лабораторию по исследованию тактильного и социального взаимодействия, чем Национальная баскетбольная ассоциация (НБА) с ее сложным социальным устройством, четкими индикаторами личных и командных результатов и огромным количеством шлепков, обменов «пятюнями» и ударов грудью.

Всем этим занялась исследовательская группа Университета Беркли в составе Майкла Крауса, Кэсси Хуань и Дачера Келтнера. Они рассудили, что если межличностный тактильный контакт способен повысить доверие и сотрудничество между игроками – очень важные факторы для успеха баскетбольной команды, – то активные осязательные контакты между игроками в начале сезона позволяют предсказать более слаженную игру команды на всем его протяжении, которая приведет к лучшим результатам.

Чтобы проверить свое предположение, Краус и коллеги сначала посмотрели видеозаписи игр с участием всех тридцати команд НБА (с участием 294 игроков)[9] в начале (в первые два месяца) сезона 2008/09. Они записали частоту тактильных контактов, их тип и продолжительность (стуканья кулаками, соприкосновения в воздухе плечами и обеими ладонями и т. д.), которые следовали за точным броском спортсмена. Исследователи составили для этих игр рей-

[9] Интересно подробное описание методов, примененных группой Крауса: «Кодирование сосредоточено на интенциональных формах контакта, поэтому контакты, вызванные самой игрой в баскетбол (борьба за позицию, постановка заслонов), не кодировались. Кроме того, из-за неудачных углов съемки мы решили не кодировать прикосновения во время повторов, крупных планов, таймаутов или в конце игровых четвертей и сосредоточились на 12 различных типах прикосновений в тех случаях, когда не менее двух игроков праздновали позитивное действие, которое пошло на пользу команде (например, точный бросок). Среди этих прикосновений – удары кулаками, «пятюни», удары грудью, удары плечами, тычки в грудь, шлепки по голове, хватания за голову, «пятюни» внизу, «пятюни» двумя руками, полные и частичные объятия и свалки всей командой». Заметим, что аналитики не упомянули удары задницами и поцелуи. Два независимых эксперта отсматривали каждую игру, и прикосновение фиксировалось, только если его отмечали оба (83 % случаев).

тинги кооперативного поведения – разговоров с одноклубниками, передач мяча и постановок заслона, – то есть такого поведения, которое подразумевает доверие к одноклубникам, порой ценой снижения индивидуальных результатов.

Чтобы оценить индивидуальные и командные результаты в ходе сезона, они обратились к статистике, которую ведет НБА и свободно распространяет через свой официальный сайт.[10]

После сбора данных и проведения соответствующих статистических анализов результат получился однозначным: контакты при праздновании попадания в играх начала сезона явным образом коррелировали с улучшением результатов как команды, так и отдельного игрока в ходе этого сезона (рис. 1.2).

Но не объясняется ли эта связь куда проще? Например, тем, что лучшие игроки и команды просто чаще попадают в кольцо, а следовательно, у них больше поводов отметить точные броски? Это изменило бы интерпретацию корреляции прикосновений с результатами. Чтобы изучить такую возможность, Краус с коллегами применили статистическую поправку, учтя общее количество набранных очков, но связь прикосновений с результатами оставалась сильна и для команд, и для игроков. Но что, если команды, которые с самого начала сезона рассматривались как фавориты (в опросах тренеров или спортивных обозревателей), изначально более оптимистично настроены и именно этот фактор приводит к увеличению тактильных контактов при праздновании и более высоким результатам?

Как бы то ни было, корреляция тактильных контактов в начале сезона и результатов осталась неизменной и после применения статистической поправки, учитывающей прогнозы в начале сезона, а также еще одной поправки на статус игроков (и зарплату как его показатель).

После оценки кооперативного поведения выяснилось, что оно во многом ответственно за прикосновения и успешную игру. Хотя исследования такого типа не доказывают наличие причинно-следственной связи, выявленные исследователями корреляции свидетельствуют о том, что короткие прикосновения при праздновании удачных действий (по крайней мере, в профессиональном баскетболе) идут на пользу индивидуальным и групповым результатам, укрепляя сотрудничество и стимулируя кооперативное поведение.

Если же говорить о тех, кто не играет в НБА, – какие функции выполняют взаимные прикосновения? Всегда ли они призваны укрепить доверие и сотрудничество? Для ответа на эти вопросы посмотрим на наших двоюродных братьев-приматов – бабуинов, шимпанзе и зеленых мартышек-верветок. Эти виды живут большими группами: множество глаз и ушей по периметру территории помогает быстро определять угрозу и держаться в безопасности от хищников. Их сила в численности: хотя взрослый леопард почти всегда побеждает в схватке с отдельным бабуином, известны случаи, когда группы бабуинов загоняли леопардов на деревья, а порой и убивали. Многие из таких больших семей обитают в местах с легкодоступной пищей. Благодаря относительной безопасности и изобилию корма, бабуинам хватает времени для сложной общественной жизни.

---

[10] Любопытны показатели, использованные Краусом и его коллегами. Например, количество набранных очков – не особенно надежный показатель: некоторые игроки набирают много очков потому, что часто делают броски, хотя процент их результативности достаточно низок, так что они просто теряют мяч. Выбранная исследователями статистическая система *WinScore* оценивает общее положительное влияние игрока на успех команды и учитывает подборы, набранные очки, броски, передачи, блокшоты и потери.

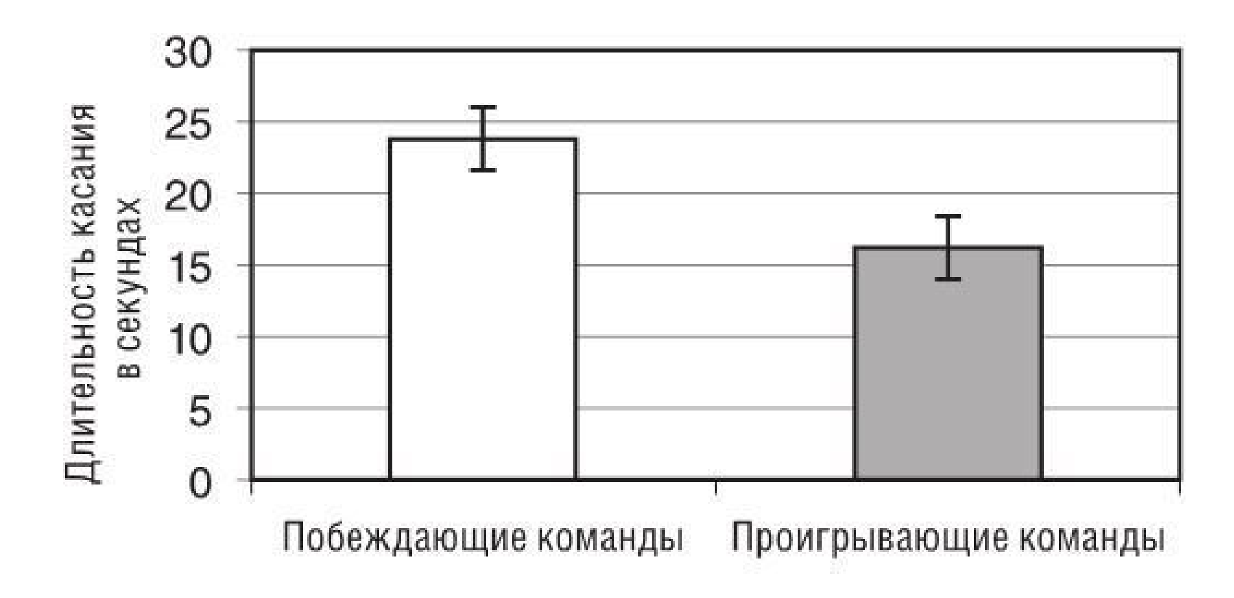




Рис. 1.2. Взаимные прикосновения предсказывают улучшение результатов в играх НБА. Сверху: Диаграмма показывает общую продолжительность радостных осязательных кон-

тактов для пяти последовательных игр НБА начала сезона 2008/09. Приводится по: Kraus M. W., Huang C., Keltner D. Tactile communication, cooperation, and performance: an ethological study of the NBA // Emotion 10. 2010. 745–749. Опубликовано Американской психологической ассоциацией; воспроизводится с ее разрешения.

Внизу: Баскетболисты сталкиваются грудью в воздухе

Например, британский специалист по поведению приматов Робин Данбар сообщает, что гелады (разновидность бабуинов), живущие на Эфиопском нагорье, до 20 % времени, исключая сон, проводят, роясь в шерсти друг друга. Таким образом, на груминг у них уходит невероятно много времени. Хотя груминг нужен для удаления отмершей кожи, паразитов, спутанной шерсти и кусочков растений, гелады (и многие другие виды приматов) занимаются им значительно больше, чем необходимо для содержания кожи и шерсти в чистоте. Основная функция груминга носит социальный, а не дерматологический характер (рис. 1.3).

Гелады живут большими группами – от ста до четырехсот особей, но в каждой такой группе существует несколько более мелких объединений: гаремы, состоящие из четырех-пяти самок, детеныши и один самец-добытчик. Когда молодые гелады вступают в стадию взросления, юные самцы уходят из гарема и сбиваются в холостяцкие стаи, а самки остаются. Таким образом, социальным ядром гарема оказывается группа самок-родственниц: матерей, сестер, теток, двоюродных сестер. Эти гаремные самки образуют лояльную и долгосрочную коалицию, которая укрепляется и поддерживается при помощи груминга.[11] Их сестринская солидарность проявляется различным образом, но нет ничего интереснее случаев, когда участнице коалиции грозит опасность со стороны доминантного самца. Единственный самец-добытчик, глава гарема, должен постоянно следить за самками, чтобы они не вступали в сексуальные отношения с более молодыми самцами из холостяцких групп, которые постоянно отираются неподалеку. Помимо отпугивания самцов-холостяков, самец-добытчик часто пытается устрашить и саму самку, угрожая ей и ведя себя агрессивно (пыхтит и скалит зубы). В этом случае ее родственницы спешат на выручку и коллективно отгоняют самца-добытчика. Но внутри этой женской коалиции не все отношения равноправны, а связи между некоторыми ее участницами крепче, чем у других. Если внутри гарема возникает свара, самка объединяется с наиболее усердной партнершей по грумингу.[12]

---

[11] Данбар отмечает, что кооперативное поведение характерно далеко не для всех приматов: оно не встречается у большинства видов Нового Света и у некоторых видов Старого Света – например, колобусов и лемуров. В целом чем больше социальная группа, тем более вероятно кооперативное поведение, сопровождаемое постоянным грумингом.

[12] Конечно, жизнь бабуинов не сводится к милому и счастливому взаимному грумингу. Они бывают настоящими стервецами. Роберт Сапольски, изучающий стресс в сообществах бабуинов, пишет: «Бабуины – идеальные модели для той экосистемы, которой я занимаюсь. Они живут в прекрасном месте – в Серенгети, в Восточной Африке, селятся большими группами, так что хищники им угрожают редко. Детская смертность низкая. Более того, бабуинам достаточно три часа позаниматься собирательством, чтобы получить дневную норму калорий. А раз на добычу еды они тратят всего три часа, у них есть девять часов, чтобы угнетать других бабуинов. Как и мы, они находятся в экологически привилегированном положении и располагают временем на создание психологического стресса для других обезьян. *Если бабуин в Серенгети несчастен, то в этом всегда виноват другой бабуин*» (курсив мой. – Д. Л.).

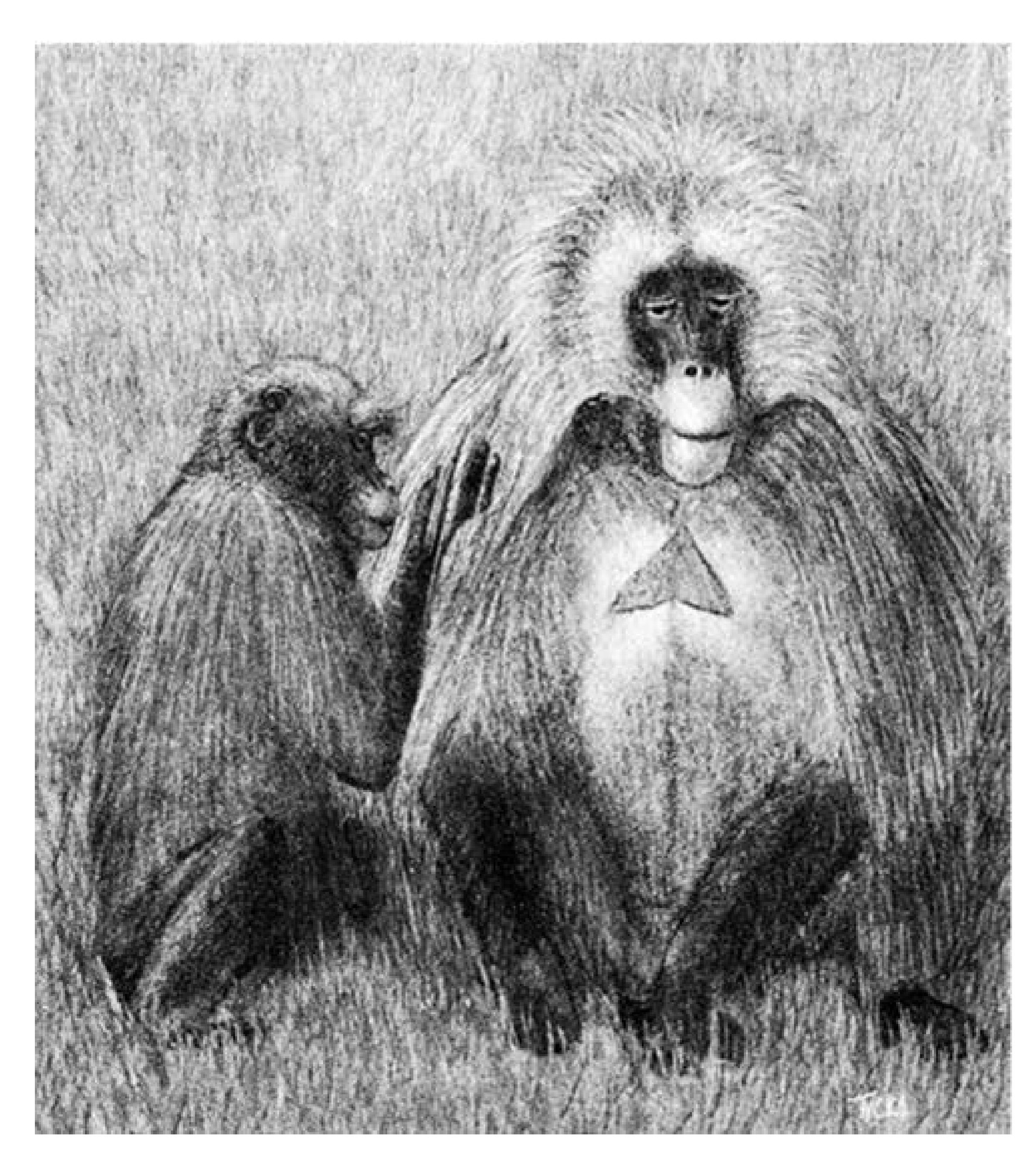


Рис. 1.3. Молодой самец гелады (Theropitecus gelada) занимается грумингом взрослого самца. Это ключевое поведение для создания длительных социальных связей и формирования союзов

В этих социальных группах приматов груминг столь же социально важен, как выбор соседа по парте у старшеклассников. Матери ухаживают за своими отпрысками; сексуальные пары ухаживают друг за другом; друзья ухаживают за друзьями – как в мужских, так и в женских парах. Как и в старших классах школы, приматы с более высоким статусом получают при ухаживании больше внимания, чем уделяют его сами. Груминг создает и укрепляет сеть лояльности, так что члены коалиции с большей вероятностью приходят на помощь представителю своей группы, которому угрожает опасность в гаремной ссоре, или со стороны участника другой группы, или даже со стороны хищника. Использование аудиозаписей показало, что шимпанзе и макаки чаще реагируют на призыв о помощи (даже подвергаясь опасности сами), если он исходит от животного, которое недавно за ними ухаживало.

Молодой самец шимпанзе или бабуина занимается грумингом альфа-самца, чтобы добиться его расположения, или же, надеясь свергнуть вожака, устанавливает на основе гру-

минга альянс с другим молодым самцом. Когда сбросить альфа-самца удается, молодой самец часто сам делает жест доброй воли по отношению к свергнутому монарху, чтобы уменьшить вероятность его нападения с целью вернуть себе прежний статус. Новый король, если ему хватит ума, даже сделает прежнего вожака союзником, чтобы вместе отпугивать других самцов в переходный период. Свергнутый вожак, поняв, что не в силах вернуть себе прежний статус, предпочтет с этим смириться, чтобы остаться в группе и защищать своих отпрысков, даже если его царствование уже завершено. Существует ритуал подобного примирения: победитель подставляет свергнутому самцу зад, а тот пробирается между задними лапами нового вожака и легонько касается его пениса. Покончив с формальностями, пара ухаживает друг за другом, как друзья после долгой разлуки, тем самым скрепляя сделку.

Итак, ситуации очень похожи и для людей – игроков НБА, и для приматов за пределами рода *Homo*, таких как гелады: социальные прикосновения, как правило, укрепляют сотрудничество и лояльность. И люди, и другие приматы используют груминг и прочие формы социального взаимодействия для утешения, примирения, образования альянсов, вознаграждения за совместные действия и укрепления родственных и дружеских уз. Но характерно ли такое поведение только для приматов или же его признаки можно найти и у других животных?

Есть как минимум один яркий пример социального груминга за пределами семейства приматов. Обыкновенный вампир – летучая мышь, *Desmodus rotundus*, летает по ночам и питается кровью живых млекопитающих – чаще всего лошадей, ослов, крупного рогатого скота и тапиров. Это его единственный источник питания, потому что из-за узкого горла твердая пища ему недоступна. Если животное покрыто шерстью, то вампиры при помощи клыков и моляров осторожно ее выстригают, прежде чем вгрызться в кожу острыми верхними резцами и начать сосать кровь. Слюна летучих мышей содержит антикоагулянт, благодаря которому кровь не сворачивается в течение 20–30 минут, необходимых для переваривания пищи. (Иногда другая летучая мышь терпеливо ожидает у той же самой ранки.) Взрослая самка вампира обычно весит около 40 граммов, но высасывает до 20 граммов крови, прежде чем улетит, отяжелевшая и насытившаяся. Но у вампиров очень интенсивный метаболизм, так что если одну-две ночи подряд они не найдут себе пищи, то потеряют до 25 % веса и рискуют погибнуть.

В одной части своего ареала, в Коста-Рике, летучие мыши-вампиры обитают в дуплистых деревьях группами от восьми до двенадцати особей. Джеральд Уилкинсон и его коллеги из Университета Колорадо несколько месяцев наблюдали этих летучих мышей на их древесных насестах. Оказалось, что к обоюдному грумингу больше склонны родственники или те особи, которые часто становятся соседями по насесту. Груминг также стимулировал особый вид сотрудничества: после процедуры животное нередко делилось с партнером по ней едой, отрыгивая часть пищи (рис. 1.4). Судя по всему, груминг служит способом убедить партнера поделиться пищей.

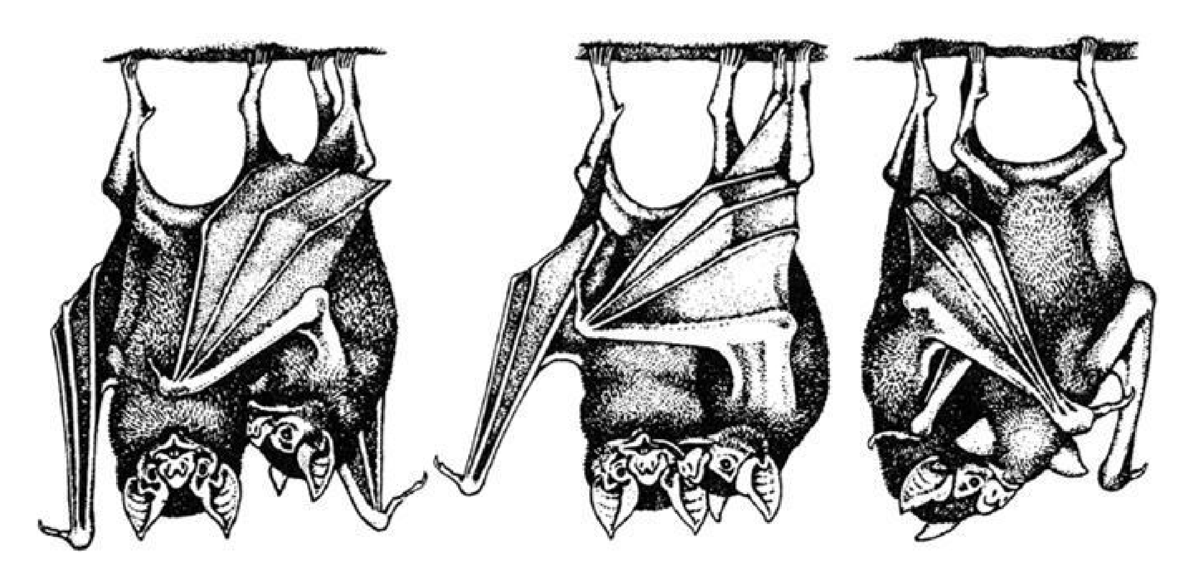


Рис. 1.4. Голодная летучая мышь получает отрыгнутую кровь. Груминг начинается с того, что голодный вампир облизывает потенциального донора под крылом (слева), а затем лижет ему губы (в центре). Если донор согласен, он отрыгивает немного крови (справа). Кровью делятся только близкие родственники или давние соседи по месту отдыха. Иллюстрация Патрисии Уинн; используется с ее разрешения. Рисунок впервые опубликован в: Wilkinson G. S. Food sharing in vampire bats // Scientific American 262. 1990. 76–82

Выпросив еду у соседки, вернувшейся с обеда, летучая мышь переживет ночь и получит возможность найти кровь самостоятельно. В мире вампиров такие отношения выглядят взаимовыгодными: я поухаживаю за тобой, а ты выплюнешь кровь мне в горло. В следующий раз, возможно, я сделаю то же для тебя.

У нас уже имеется много свидетельств того, что социальные прикосновения способствуют доверию и сотрудничеству. Интерпретируя все эти данные, мы исходим из того, что все млекопитающие – люди, гелады, вампиры – в детстве испытывали материнские прикосновения, что побуждает их ассоциировать теплые, легкие тактильные контакты с безопасностью. Но что происходит, когда этот ранний опыт материнских контактов отсутствует?

В конце 1950-х годов Сеймур Левин и его коллеги из Центра здоровья Университета Огайо изучали, как сказываются события первых дней жизни особи на формировании ее личности, в особенности в плане реакции на стресс. Они выращивали в лаборатории серых крыс и вскоре после рождения выбирали троих из помета (в котором обычно бывает 10–12 крысят) и гладили их в течение 15 минут. Эта процедура повторялась изо дня в день с одними и теми же особями, пока им не исполнилось по три недели. Став взрослыми, эти обласканные особи демонстрировали позитивные черты в поведении: были менее боязливыми, проявляли бóльшую склонность к исследованию новых условий и оказались меньше подвержены стрессу по сравнению со своими однопометниками. Анализ крови показал, что у детенышей, которых гладили, в стрессовой ситуации вырабатывалось меньше кортикостерона и аденокортикотропного гормона.[13]

Эти первичные исследования не имели целью анализ конкретных механизмов, того, как поглаживание запускает гормональные и поведенческие изменения в ответ на стресс. Левин

[13] Первые исследования учитывали обращение с новорожденными вплоть до двадцать первого дня; в дальнейшем выяснилось, что значение имеют лишь первые семь дней – следующие не оказывали особого влияния. Можно ли считать это формой материнской депривации? Едва ли, поскольку в течение дня матери-крысы обычно покидают убежище на 20–25 минут.

предположил, что изменения были связаны не столько с самим поглаживанием, сколько с последующим поведением матери-крысы.

Когда после поглаживания крысята возвращались в родную клетку, они издавали ультразвуковой плач, в ответ на который мать удваивала усилия по вылизыванию и грумингу, что увеличивало тактильное внимание к этим крысятам в течение всего периода поглаживания.

Хотя поведение матерей-крыс поразительно само по себе, куда интереснее, можно ли экстраполировать подобную корреляцию и на развитие человека. Интерес к этому зародился после серии экспериментов, проведенных исследователями Университета Макгилла во главе с Майклом Мини.

В ходе наблюдений за множеством матерей-крыс (серых, одной и той же лабораторной линии Лонга – Эванса) выяснилось, что одни вылизывают детенышей часто, а другие гораздо реже. Более того, самые внимательные матери вылизывали детенышей и ухаживали за ними почти в три раза дольше, чем самые нерадивые. И оказалось, что человеческие поглаживания выравнивают это распределение: менее внимательные матери усиливают тактильные контакты и догоняют более заботливых.

Выросшие детеныши менее заботливых крыс хуже ориентировались в пространстве и были боязливей, чем те, кого матери вылизывали чаще. Они проявляли меньшую склонность к исследованию новых территорий и реже пробовали непривычную пищу. С некоторой долей антропоморфизма позволим себе сказать, что они просто-напросто дрейфили. Их боязливость может быть связана с сигналами гормонов стресса. Таким образом, мы видим закономерность: крысы, которых редко вылизывали матери, всю жизнь имеют повышенный уровень гормона стресса (рис. 1.5).

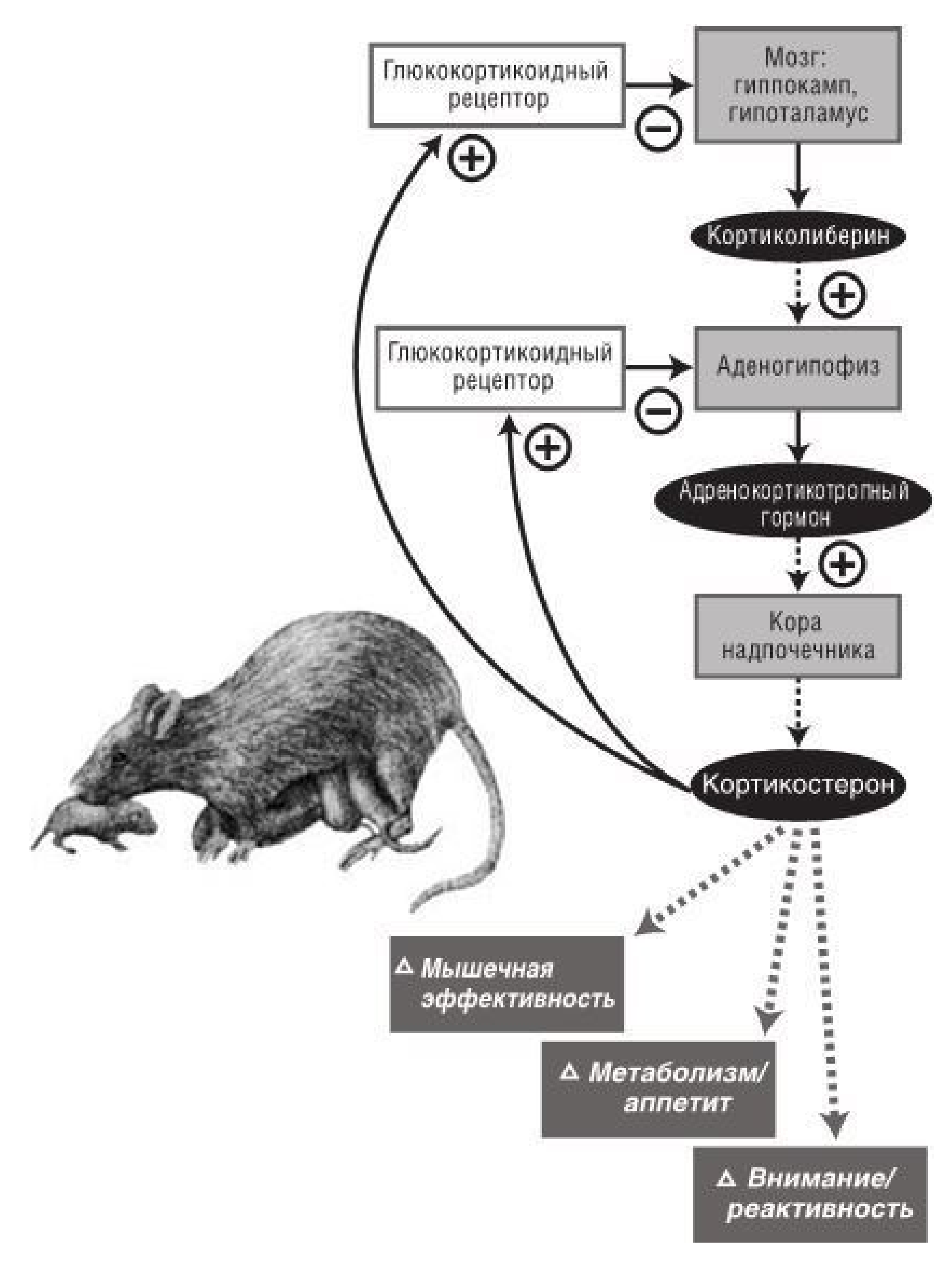


Рис. 1.5. Материнское вылизывание и груминг новорожденных крысят на всю жизнь порождают изменения в сигналах гормонов стресса. Стресс вызывает каскад гормональных ответов, которые порождаются в зоне мозга, именуемой гипоталамусом, где выделяется гормон кортиколиберин (КРГ). Он активизирует переднюю часть гипофиза, где, в свою очередь, выделяется еще один гормон – адренокортикотропный, циркулирующий по кровеносной системе к надпочечной железе. Затем надпочечная железа выделяет гормон кортикостерон, который оказывает множественное влияние на организм – регулирует мышечную эффективность, метаболизм, электролитный баланс, аппетит и внимание. Кортикостерон также связывает глюкокортикоидные рецепторы мозга, формируя отрицательную обрат-

ную связь, которая подавляет выработку кортиколиберина. Весь этот путь сигнализации о стрессе носит название гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы (ГГН). У детенышей, которых матери недостаточно вылизывали, в результате умеренного кратковременного стресса (взрослых крыс запирали в пластиковых трубках на двадцать минут, а затем брали образцы их крови) возрастает уровень адренокортикотропного гормона и кортикостерона. К тому же в мозге таких крыс меньше глюкокортикоидных рецепторов, способных связывать циркулирующий кортикостерон, что снижает отрицательную обратную связь и усиливает эффекты гормонов стресса

Какой вывод можно из этого сделать? Объясняется ли этот уровень именно недостатком вылизывания или следует говорить лишь о корреляции? Способны ли не склонные к вылизыванию матери передавать эту черту по наследству своему потомству? В ходе исследований выяснилось и еще одно обстоятельство: как у людей нерадивые матери часто встречаются в одной семье из поколения в поколение, так и самки серых крыс, чьи матери плохо их вылизывали, сами, становясь взрослыми, оказались не склонны к вылизыванию своих детенышей.

В науке о человеческом поведении распутывание проблем класса «природа или воспитание» часто включает исследования близнецов, усыновленных разными семьями. Нечто похожее можно проделать и с крысами. Два крысенка из помета мало вылизывающей детенышей матери в течение двенадцати часов после рождения были отняты от нее (их пометили несмываемым маркером) и подброшены в помет матери, склонной к вылизыванию. Когда крысята выросли, оказалось, что их поведенческий отклик и гормональная реакция на стресс ниже, чем у братьев и сестер, остававшихся с матерью.

Кроме того, самки, подвергнутые пересадке к другой матери, имели больше шансов сами стать матерями, склонными к вылизыванию потомства. И наоборот – крысята, перенесенные от часто вылизывающих потомство матерей к не склонным это делать самкам, имели повышенный отклик на стресс, а у молодых самок было больше шансов стать матерями, не склонными к вылизыванию потомства.[14] Эти результаты, вкупе с благотворным эффектом от поглаживания человеком крысят, рожденных мало вылизывающей их самкой, говорят в пользу поведенческой, а не генетической передачи реакций на стресс.

Но воздействие частого вылизывания и груминга должно каким-то образом видоизменять мозг и гормональную систему крысят, так что эти эффекты все равно носят биологический характер. Собственно говоря, сейчас мы уже знаем некоторые биохимические детали того, как материнское вылизывание и груминг постоянно модифицируют гены, ответственные за передачу поведения через поколения. Эти «эпигенетические сигналы» – пример того, как природа и воспитание встречаются на молекулярном уровне.[15]

Если воспитание потомства, устойчивого к стрессу, действительно выгодно, то почему не все крысы-матери склонны к частому вылизыванию и грумингу своих крысят? Ведь это дало

---

[14] Эксперименты проводились под строгим контролем: детеныши мало вылизывающих матерей передавались другим мало вылизывающим матерям, а «подкидышей» забирали у матерей всего на несколько минут и вскоре возвращали.

[15] Хотя мы не до конца пока понимаем все клеточные и молекулярные процессы, участвующие в формировании тактильных ощущений новорожденных детенышей и дальнейших изменений в сигнальной системе гормонов стресса, некоторые аспекты уже ясны. Например, детеныши склонных к вылизыванию матерей обладают модификацией гена, кодирующего глюкокортикоидный рецептор. Эта модификация называется деметилированием ДНК и способствует проявлению гена глюкокортикоидного рецептора. Метильные группы присоединяются к участку гена, называемому промотором, и препятствуют связыванию вспомогательного белка – транскрипционного фактора NGFI-A. Когда деметилирование вследствие вылизывания происходит на раннем этапе развития, оно способствует проявлению этого гена и, соответственно, повышению уровня белка глюкокортикоидного рецептора и формированию отрицательной обратной связи, которая подавляет выработку кортиколиберина (см. рис. 1.5). Ключевая особенность этого механизма состоит в том, что он скорее эпигенетический, чем генетический, то есть не меняет последовательность нуклеотидов, составляющих генетический код отдельной крысы, а химически модифицирует гены, подавляя их активность или способствуя ей.

бы последним преимущество в выживании и размножении? Такой отбор возможен, даже когда информация передается на поведенческом, а не генетическом уровне: если у крысят, рожденных не склонными к вылизыванию матерями, меньше шансов выжить и размножиться, почему тогда склонность к вылизыванию не стала доминирующей? Ответ на этот вопрос не до конца ясен. Поскольку в диких условиях серые крысы занимают множество экологических ниш – от городских помоек до лесов и лугов, – они сталкиваются с широким спектром экологических условий: различаются их естественные враги, пищевые ресурсы, погода. Майкл Мини и его коллеги высказали предположение, что в некоторых экологических нишах – с большим количеством хищников и недостатком пищи – высокий уровень реакции на стресс, заложенный менее внимательной крысой-матерью, как раз окажется преимуществом: если приходится жить в постоянной опасности остаться голодным или быть съеденным, все чувства должны быть начеку. Как это происходит на практике, позволяет понять простая аналогия. Подобно работающим человеческим мамам, крысы-матери, которым приходится далеко отлучаться за пищей, чаще покидают нору и попросту имеют меньше времени на уход за детенышами.

Что связь между материнской тактильной стимуляцией и ответом на стресс у крыс поможет нам узнать о других видах? Посмотрим на филогенетическое дерево – сначала вниз, потом вверх. Мелкий круглый червь (нематода) *C. elegans* живет в почве и питается бактериями. Максимальной длины в 1 миллиметр он достигает взрослым, через три дня после выведения. Это любимец биологов: его легко вырастить в лаборатории, он быстро размножается, к тому же он прозрачен. Сейчас у нас есть полная карта нервной системы взрослого *C. elegans*, состоящая из 302 нейронов (для сравнения: в человеческом мозге около 500 миллиардов нейронов). Лишь шесть из них составляют осязательные рецепторы, находящиеся в стенке тела. Эти сенсорные нейроны предоставляют информацию, которая заставляет червя продвигаться вперед или назад в зависимости от того, что он встречает на своем пути (частицы почвы, поверхность воды, другого червя). Только что выведенные черви, получившие возможность развиваться группами по 30–40 особей в лабораторной посуде, полной питательных веществ, достигли максимальной длины, сравнимой с дикими червями, собранными в образцах почвы.

Когда осязательные рецепторы этих взрослых червей, выросших в колониях, касались стенки лабораторной посуды, животные обычно меняли направление и плыли назад. Но если яйцо червя помещали в отдельную емкость и появившаяся из него особь росла в изоляции от других червей, она не достигала максимальной длины и слабее реагировала на касания стенки лабораторной посуды. Изолированные черви продолжали пытаться плыть вперед, как если бы не чувствовали никакой вибрации.

Катарина Рэнкин и ее коллеги из Университета Британской Колумбии обнаружили, что полностью компенсировать недостатки как длины тела, так и осязательных ощущений можно удивительно примитивным способом: поместив емкость с червем после вылупления на двадцать четыре часа в обитый чем-нибудь ящичек и периодически сбрасывать этот ящичек с пятисантиметровой высоты – тридцать раз в течение нескольких минут. Это точно так же запускало биохимические и структурные изменения в шести сенсорных нейронах. Даже для такого простого организма, как этот червь, без всякой материнской поддержки и всего с шестью нейронами, ответственными за осязание, тактильная стимуляция оказалась важна для развития организма и нервной системы, а ее эффекты сохранялись и во взрослом возрасте.

Считается, что у людей осязание – первое из чувств, формирующихся в период внутриутробного развития, примерно на восьмой неделе беременности. В этот период человеческий зародыш имеет длину примерно полтора сантиметра, весит около грамма и проявляет первые признаки мозговой активности. С развитием эмбриона его осязательная деятельность из рефлекторной становится целенаправленной.

Я с теплотой вспоминаю, как смотрел на своих еще не рожденных близнецов на мониторе ультразвукового аппарата: они реагировали на толчки и удары друг друга во время последнего

триместра беременности. Джейкоб бил Натали по голове, а она отвечала серией ударов в живот. Это выглядело как настоящие боевые приемы, только у зародышей.

Когда дети рождаются, большинство матерей и отцов уделяют им достаточно тактильного внимания. Дети не страдают от длительных нарушений здоровья оттого, что им не делают ежедневный массаж, не дают послушать программы *Baby Einstein* и не развлекают электрическими мобилями над кроваткой. Тем не менее в исследованиях роли осязания в развитии ребенка рассматривались случаи крайней осязательной депривации в домах ребенка с недостатком персонала или у недоношенных детей, изолированных в инкубаторах.

Сейчас таких исследований уже много, и результаты говорят сами за себя: у детей с серьезной осязательной депривацией и недоношенных существует множество проблем развития – от замедления роста, частой рвоты и ослабленной иммунной системы до нарушения когнитивного и моторного развития и формирования привязанности. Как и в случае с крысами, эти нарушения не ограничиваются младенческим периодом. Постоянная осязательная депривация у детей приводит к значительно более частым случаям ожирения, диабета 2-го типа, сердечных и желудочно-кишечных заболеваний во взрослом возрасте. Нейропсихиатрические проблемы у таких взрослых тоже встречаются гораздо чаще: среди них тревожность, аффективные расстройства, психозы и плохой самоконтроль.[16]

Конечно, к подобным данным нужно подходить с осторожностью: например, дети, выросшие в приютах с недостатком персонала, скорее всего и питались неполноценно, и не получали должного медицинского ухода, а также с большей вероятностью росли в нищете. У преждевременно родившихся детей также множество проблем со здоровьем, никак не связанных с осязательной депривацией.

Важно понимать, что, хотя изучение корреляции не позволяет убедительно доказать причинно-следственную связь, тщательные методы анализа все больше свидетельствуют в ее пользу. Например, статистические данные говорят о том, что последствия осязательной депривации бывают значительными даже в сообществах, не страдающих от бедности, голода и низкого уровня медицины.

Впрочем, не стоит расстраиваться: чтобы устранить вредное влияние осязательной депривации на детей, нужно приложить не так много усилий. Всего 20–60 минут в день легкого массажа и разминания конечностей в основном нейтрализовали ее отрицательные последствия у детей из приютов с нехваткой персонала. После такой осязательной терапии дети быстрее набирали вес, были меньше подвержены инфекциями, лучше спали и меньше плакали, у них быстрее развивались координация движений, внимание и когнитивные навыки.

Один из эффективных способов легкой тактильной стимуляции недоношенных детей называется методом кенгуру. Эту технику изобрели по необходимости – в переполненном отделении неонатальной интенсивной терапии в Институте материнства и детства в Боготе, столице Колумбии.

В 1978 году доктор Эдгар Рей Санабрия столкнулся с ужасающим показателем смертности в отделении – 70 %, – по большей части вызванной инфекциями и нарушениями дыхания. Не хватало врачей, медсестер и инкубаторов. Доктор Санабрия просил матерей по многу часов в день поддерживать телесный контакт с ребенком, согревая своим теплом и при первой возможности кормить грудью. Обычно использовалась позиция «грудь к груди» в вертикальном положении, как кенгуренок сидит в материнской сумке. Тактильная стимуляция была не главной целью внедрения метода кенгуру, но оказалась одним из основных его преимуществ. Введение метода быстро снизило смертность в отделении Санабрии до 10 %.

---

[16] В обеспеченных семьях осязательная депривация обычно возникает позже – в школьном возрасте. Последствия такой поздней депривации бывают существенными, но не настолько значительными, как те, к которым приводит более ранний недостаток тактильных контактов.

Метод кенгуру не требует финансовых затрат и невероятно эффективен, так что он распространился по всему миру и положительно повлиял на уход за младенцами (рис. 1.6). В одном из недавних исследований участвовали две группы преждевременно родившихся младенцев: к одной две недели подряд применяли метод кенгуру, а к другой – стандартный инкубаторный метод. Поразительно, но явная польза ранних тактильных контактов ощущается даже в десятилетнем возрасте! Те, к кому применяли метод кенгуру, выросли менее подверженными стрессу; у них было выше качество сна, концентрация внимания и взаимопонимание с матерью.

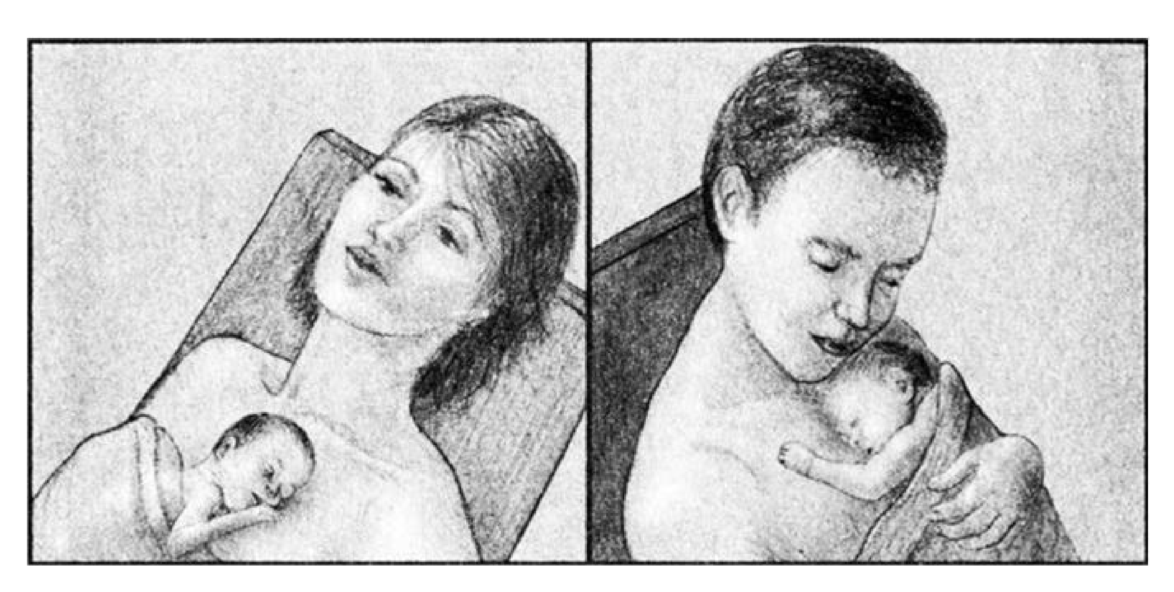


Рис. 1.6. Метод кенгуру для недоношенных младенцев. Для максимального физического контакта ребенка оставляют в одних подгузниках (и иногда в чепчике). В большинстве случаев к методу кенгуру прибегают матери, но с тем же успехом его могут использовать и отцы. Сегодня более чем в 80 % отделений интенсивной неонатальной терапии в США применяется метод кенгуру, в основном благодаря его эффективной пропаганде Сьюзен Лудингтон, профессора педиатрии Университета Кейс-Вестерн-Резерв

Из собственного повседневного опыта мы знаем, что прикосновения вместе с другими сенсорными сигналами можно использовать для передачи широкого спектра эмоциональных смыслов, в том числе поддержки, согласия, одобрения, доминирования, привлечения внимания, сексуального интереса, игры, принятия. Эти смыслы зафиксированы в самоотчетных исследованиях, когда респондентов просили делать краткие записи сразу после того, как они к кому-то прикасались или же кто-то дотрагивался до них самих. Преимущество самоотчетных исследований в том, что в них анализируется поведение в реальной жизни, но у них есть и недостаток: вся восхитительная мультисенсорная и ситуативная сложность реального мира мешает однозначно истолковать роль прикосновений в каждом конкретном взаимодействии.

Остановимся здесь подольше. Передает ли прикосновение определенные эмоции или только усиливает эмоции, уже полученные через другие органы чувств – слух или зрение? Или же, возможно, ответ лежит где-то посередине: осязание может передавать эмоции, но лишь в самом общем виде, к тому же ограничивается сигналами и тональностью: теплота/интимность/доверие или боль/дискомфорт/агрессия. Мэтью Хертенстайн и его коллеги по Университету ДеПоу придумали ряд экспериментов, позволяющих выявить роль социальных прикосновений в передаче эмоций. В одном из исследований пары студентов одного из калифорнийских университетов сидели за столами, отделенные друг от друга черной шторой. Им не разрешалось смотреть друг на друга и разговаривать. Одному из участников, назначенному кодировщиком, показывали листок бумаги со словом, обозначающим эмоцию и произвольно выбранным из двенадцати заранее известных. Затем участника или участницу просили подумать, как

передать эту эмоцию, и попытаться сделать это, в течение пяти секунд любым образом касаясь обнаженной руки второго участника. Воспринимающий участник, или декодировщик, не видел этого прикосновения, поскольку его рука лежала за шторой, на стороне кодировщика. После каждого прикосновения декодирующему участнику предлагалось оценить намерения кодировщика в письменном виде, выбрав одно из тех же двенадцати расположенных в случайном порядке слов, обозначающих эмоции (гнев, отвращение, страх, счастье, печаль, удивление, сочувствие, растерянность, любовь, зависть, гордость и благодарность) или же вариант «все ответы неправильны». Все прикосновения фиксировались на видео и впоследствии оценивались другими участниками, которые не имели представления ни о передаваемых, ни о получаемых эмоциях.

После анализа результатов ста шести пар участников обнаружилось, что эмоции, обращенные на себя, – растерянность, зависть и гордость – эффективно передавать не получалось, а социальные эмоции – любовь (выражалась в основном поглаживанием и переплетением пальцев), благодарность (рукопожатия) и сочувствие (похлопывание и поглаживание) – удавалось расшифровать с частотой, намного превосходящей случайную. Если говорить о других эмоциях, легко выражаемых при помощи мимики, то гнев (передаваемый ударами или сжатием), страх (дрожью, сжатием) и отвращение (отталкиванием) распознавались успешно, а счастье, удивление и печаль – нет. Позднее другую группу студентов попросили оценить видеозаписи этих прикосновений в соответствии с тем же списком из двенадцати вариантов плюс вариант «ничего из вышеперечисленного». Им тоже в большинстве случаев удалось распознать любовь, благодарность, сочувствие, гнев, страх и отвращение, но не другие эмоции. Исследователи заключили, что люди действительно могут отчетливо передавать эмоции через осязание, а следовательно, роль прикосновений не ограничивается усилением или ослаблением эмоций, переданных ранее через иные каналы.

Но дьявол, как обычно, кроется в деталях. Смыслы и ожидания, связанные с осязанием, различаются для разных культур, для различных взаимодействий между полами и даже для разных ситуаций. Эти переменные могут серьезно влиять на осязательную коммуникацию. Когда аналогичный эксперимент с касаниями руки провели в Испании, результаты получились почти такие же. Но, пересмотрев данные по калифорнийскому исследованию, Хертенстайн с товарищами выявили некоторые любопытные гендерные закономерности. Мужчине ни разу не удалось расшифровать гнев, если эту эмоцию пыталась выразить женщина. Когда же мужчина хотел таким анонимным прикосновением выразить женщине сочувствие, у нее также не получалось распознать эту эмоцию.

Эти лабораторные эксперименты, связанные с анонимными прикосновениями, оказались полезны для определения границ того, что вообще способно выразить прикосновение само по себе, но, конечно, в реальной жизни никто никогда не использует осязание с такой целью. Во-первых, большинство тактильных контактов не происходит между незнакомцами: это слишком интимная форма взаимодействия. Во-вторых, в реальном мире прикосновения всегда имеют определенный контекст. Мы по собственному опыту знаем, что одно и то же осязательное ощущение имеет совершенно разные эмоциональные значения в зависимости от пола, силы действия, истории отношений и культурного контекста – всего, что связывает инициатора и получателя контакта.

Рука на плече может выражать множество эмоциональных намерений – от приобщения к коллективу и сочувствия до сексуального интереса и социального превосходства. Ну и конечно, огромное значение имеет культура социальных прикосновений, особенно публичного характера.

В 1960-е годы психолог Сидни Джурард наблюдал за парами, разговаривающими в кафе по всему миру.[17] В каждом городе он методично изучал одно и то же количество пар за одно и то же время. Джурард выяснил, что пары в Сан-Хуане, столице Пуэрто-Рико, прикасались друг к другу в среднем 180 раз в час, в Париже – 110 раз в час, в Гейнсвилле, штат Флорида, – два раза в час, в Лондоне – 0 раз в час.[18] Подобные же различия выявило исследование прикосновений представителей 26 разных наций в залах вылета международного аэропорта на Западном побережье США.[19]

Прощальные тактильные контакты были наиболее характерны для тех, кто родился в США, Латинской и Карибской Америке и Европе, а наименее – для жителей Северо-Восточной Азии.

С тем существенным влиянием, которое культура, гендер и общественная ситуация оказывают на восприятие межличностных осязательных контактов, связан важный вопрос: почему одно и то же действие (например, кратковременное похлопывание по плечу), произведенное с одним и тем же усилием и с одинаковой динамикой и порождающее один и тот же сигнал, поступающий в мозг от кожи и мышц, вызывает такие различные ощущения у тех, кто его воспринимает? Причем речь идет не о том, что эти ощущения поначалу кажутся всем одинаковыми и уже затем как-то по-разному интерпретируются. Напротив, они кажутся различными с самого начала – сразу, как только улавливаются. Тактильное восприятие руки, которую положил вам на плечо склонный к доминированию начальник, разительно отличается от того же жеста со стороны хорошего друга и тем более любовника. Само тактильное восприятие должно сочетаться с предыдущим жизненным опытом – начиная с материнской утробы и заканчивая текущим моментом; большую роль играют культура, гендерные роли, история взаимоотношений – и все это рождает полное нюансов восприятие социального прикосновения. Такое соединение прошлого с настоящим занимает десятые доли секунды. И наша задача – выяснить, как биология кожи, нервов и мозга определяет этот ключевой интегрирующий аспект жизни человека как общественного животного.

---

[17] В этом исследовании принимали участие и однополые, и разнополые пары. Их опрос не проводился, так что люди в парах могли быть и друзьями, и любовниками.

[18] Британцы традиционно занимают последние места в международном рейтинге социальных прикосновений. Известен случай с принцем Чарльзом: он описывает крайне неприятную ситуацию из своего детства, когда его мать, королева Елизавета, вернулась из зарубежной поездки, а ему пришлось ждать в очереди из желающих поздравить ее с прибытием, причем все общение сводилось к рукопожатию.

[19] Национальность участников исследования уточнялась устно уже после осязательных контактов. Хотя исследование интересно, оно не обладает статистической убедительностью и недостаточно широко охватывает мировые культуры: в нем не принимали участия африканцы и почти не были представлены уроженцы Южной Европы.

Глава 2
Что у меня в кармане?

На всякого мудреца довольно простоты. Например, Аристотель попытался осмыслить и объяснить человеческое когнитивное превосходство. Как могут люди быть настолько умнее других существ, если ястреб гораздо лучше видит, у собаки великолепное обоняние, а у кошки гораздо более острый слух?[20]

Размышляя над этим, Аристотель пришел к убеждению, что у человека необыкновенно сильно развито осязание и что именно это качество и отвечает за его интеллект:

> В других чувствах человек уступает многим животным, а что касается осязания, то он далеко превосходит их в тонкости этого чувства. Именно поэтому человек есть самое разумное из всех живых существ. Это видно также из того, что и в человеческом роде одаренность и неодаренность зависят от этого органа чувства и ни от какого другого. Действительно, люди с плотным телом не одарены умом, люди же с мягким телом одарены умом.[21]

Исследования в области биологии осязания не подтверждают ни посылку, ни вывод Аристотеля. На самом деле по способности к осязанию мы превосходим вовсе не всех животных. К тому же и у людей нет никакой корреляции между разумом и нежностью кожи или способностью остро воспринимать легчайшие прикосновения. Судя по всему, Аристотель основывал свои выводы на классовой структуре общества: по его мнению, рабы и люди, чьи руки загрубели от физического труда, были определенно не так умны, как философы и знать, обладающие «мягким телом».

Но Аристотель не знал, что мы (как и другие животные) обладаем широким спектром осязательных рецепторов на коже, каждый из которых представляет собой великолепный специализированный микроскопический механизм, созданный эволюцией для добычи конкретной информации о нашем мире. Нервные волокна, которые передают информацию от этих рецепторов к спинному мозгу, в основном отвечают за какой-то один класс ощущений: одни – за текстуру, другие – за вибрацию, третьи – за растяжку и т. д. Когда мы используем тактильную информацию, играя на скрипке, занимаясь любовью или потягивая кофе, мы не думаем о том, сколько разнообразных кожных рецепторов в этом задействовано.

Потоки информации, поступающие от этих рецепторов, соединяются и обрабатываются в нашем мозгу, так что к тому времени, когда мы получаем к ним осознанный доступ, они обретают форму единого удобного объекта восприятия. Более того, осязательная информация на подсознательном уровне комбинируется с данными, получаемыми от зрительных, слуховых и проприоцепторных (проприоцепция – ощущение собственной позы в пространстве, достига-

---

[20] Путаница в этом вопросе происходит на нескольких уровнях. Во-первых, распространено мнение, будто сенсорный опыт – ключевой фактор формирования интеллекта. Но мы знаем, что слепые или глухие от рождения люди обладают нормальным интеллектом. Во-вторых, точное значение высказываний типа «более острый слух» и «более зоркий глаз» установить трудно. Приведем несколько примеров. Наш слух чрезвычайно чувствителен к частотам, которые преобладают в человеческой речи: на них мы улавливаем самые слабые звуки не хуже любого другого животного. Однако более низкие частоты, которые улавливают слоны, киты, носороги и луговые тетерева, лишь незначительно возбуждают сенсорный аппарат в среднем ухе человека. А летучие мыши, собаки, дельфины и мыши улавливают частоты, находящиеся за верхними пределами человеческого восприятия (предел у детей – 20 000 Гц). Если говорить о зрении, то ястребы и другие хищные птицы обладают и большей остротой зрения (в кабинете окулиста ястреб получил бы оценку 20:2, то есть на расстоянии 5 метров разглядел бы такие подробности, которые человек увидит лишь с 50 сантиметров), и большим спектром восприятия цветов (например, они способны увидеть ультрафиолетовый свет, который излучает моча их потенциальных жертв и который человеком не воспринимается).

[21] *Аристотель*. О душе. Перевод П. С. Попова, исправленный и дополненный М. И. Иткиным. Цит. по: *Аристотель*. Соч. в 4 томах. Т. 1. С. 371–448. М.: Мысль, 1976.

емое благодаря нервным окончаниям в мышцах и связках) рецепторов, что порождает богатое, детализированное восприятие.

Кожа – посредник между нашим внутренним и внешним миром и в силу этого, является зоной контакта. Помимо сбора осязательной информации, она отвечает за защиту от множества опасностей. Кожа служит барьером, отражающим такие угрозы, как паразиты, микробы, механические и химические повреждения, ультрафиолетовое излучение и т. д. Помогает ей в этом собственная система иммунной защиты, вырабатывающая специфические гормоны.[22] Кожа человека – на удивление большой орган. Если бы я, как в фильмах ужасов, пал жертвой зловещей убийцы-психопатки и она решила бы тщательно меня освежевать, то вес снятой кожи примерно равнялся бы весу шара для боулинга (6,35 килограмма): это крупнейший орган в человеческом организме. Чтобы у вас екнуло в животе при мысли о той площади, которую можно покрыть человеческой кожей, представьте, что вам доставили девять семейных пицц и уложили на полу квадратом три на три.[23]

Есть два основных типа кожи: покрытая волосами и безволосая. Безволосая кожа в медицине именуется гладкой, и вы, возможно, думаете, что такую кожу легко найти во всяких гладких местах – например, на щеках Киры Найтли. Но если приглядеться, то вы увидите, что и ее прекрасное лицо покрыто множеством тонких, коротких, светлых волосков, именуемых пушковыми. Они растут и на других гладких на вид участках человеческой кожи – на внутренней части бицепса и внутренней части бедра. Эти мягкие пушковые волосы выполняют функцию отведения влаги, удаляя с кожи пот и тем самым повышая эффективность испарительного охлаждения. Единственные действительно безволосые участки кожи – это ладони (а также внутренняя сторона пальцев), подошвы, губы, соски и часть гениталий.[24] У женщин кожа малых половых губ и клитора гладкая, а на коже больших половых губ есть волоски. У мужчин гладкая кожа на крайней плоти и головке полового члена, а основание члена имеет волоски (даже у лоснящихся, химически эпилированных порноактеров).

Общая структура и у волосистой, и у гладкой кожи одинакова. Представьте себе двухслойный торт, верхний слой которого разделен на несколько подслоев (рис. 2.1). У обоих типов кожи есть внешний подслой уплощенных мертвых клеток – так называемый роговой слой эпидермиса и еще три подслоя, каждый из которых содержит смесь нескольких типов живых клеток, в том числе кератиноциты, клетки Лангерганса (составная часть иммунной системы) и меланоциты. В меланоцитах образуются гранулы пигмента меланина, ответственного за цвет кожи. Вместе эти четыре подслоя образуют эпидермис. Клетки эпидермиса постоянно регенерируют: новые создаются посредством деления в самом глубоком подслое и постепенно продвигаются вверх. От давления снизу верхние клетки уплощаются, а их внутренняя структура изменяется: в роговом слое остаются жесткие блинообразные клеточные оболочки, которые

---

[22] В 1900 году психолог И. М. Бентли из Корнеллского университета воспел кожу: «Один из сюрпризов физиологии – поразительное разнообразие функций, которые выполняет этот вроде бы простой орган. Как оболочка, он служит не только вместилищем, но и преградой, а также посредником между организмом и миром: покров, защита, промежуточное звено. Настоящее чудо, что его работа представлена в ментальных процессах; что многие из наших самых обычных и полезных ощущений рождаются из кожного осязания».

[23] На моей коже примерно 5 миллионов волосков и около 2 миллионов потовых желез. Удивительно, но даже у женщин с густыми и длинными волосами на голову приходится лишь 2 % всех волос, поскольку бóльшая их часть – пушковые. При больших нагрузках в жаркой и влажной среде наши потовые железы выделяют около 4 литров жидкости в час. Люди – чемпионы по потению во всем животном царстве. Возможно, у нас не лучшее зрение или слух, зато потеем как бешеные! Вперед, *Homo sapiens!* И не забудьте об увлажнении организма.

[24] Некоторые врачи используют специальный термин для той части гладкой кожи, которая граничит со слизистыми мембранами. Это так называемый кожно-слизистый покров, который включает губы, конъюнктиву (внешнюю оболочку глаз), малые половые губы, кожу вокруг уретры и ануса и т. д. Если соски полностью гладкие, то у ареолы гладкий только центр, а кожа вокруг покрыта волосками. Хуно Диас упоминает об этом в своем великолепном романе «Короткая фантастическая жизнь Оскара Вау»: «У матери огромнейшие груди… Размер G, помноженный на три, соски как блюдца и черные как смола, а по краям топорщатся волоски, которые мать иногда выдергивает, а иногда нет». (Перевод Е. Полецкой.)

впоследствии исчезают с поверхности. Таким образом, эпидермис полностью обновляется примерно раз в пятьдесят дней. Под эпидермисом лежит следующий слой – дерма, в которой находятся нервы, кровеносные сосуды, потовые железы и плотная сеть эластичных волокон.

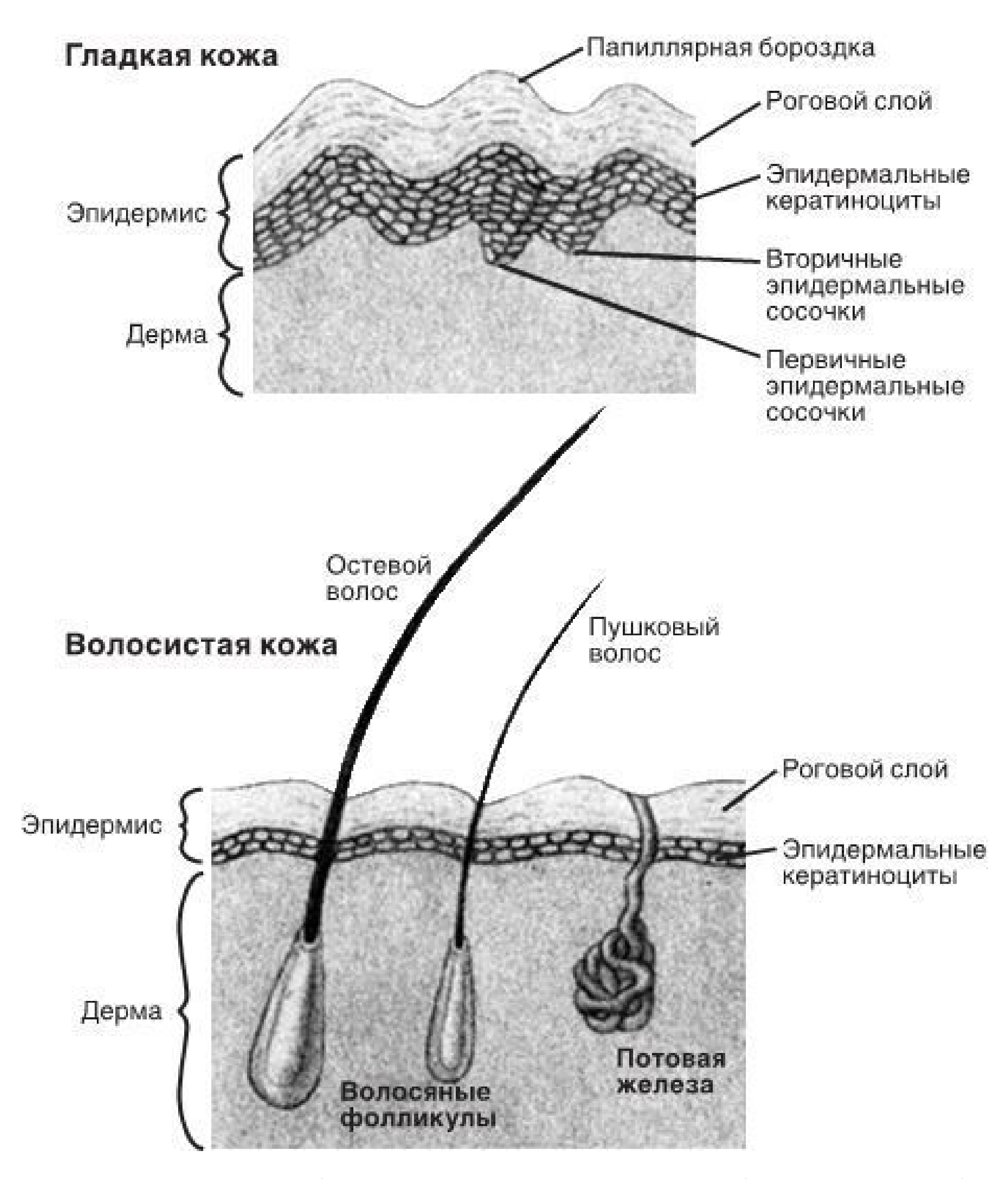


Рис. 2.1. Структура гладкой и волосистой кожи в целом сходна, но имеет и ряд существенных различий

Ключевые структурные различия между гладкой и волосистой кожей показаны на рис. 2.1. На волосистой коже есть как тонкие бледные пушковые волоски, так и более длинные и толстые, лучше заметные остевые волосы. Эпидермис гладкой кожи обычно более плотный, чем у кожи, покрытой волосами.[25] Кроме того, форма у него тоже иная – не плоская, а волни-

[25] Например, эпидермис гладкой кожи на кончиках пальцев почти в десять раз толще, чем эпидермис волосистой части кожи на предплечье. Но самый толстый эпидермис на гладкой коже подошвы – около 1 мм, в двадцать раз толще, чем на предплечье. Дело в том, что кожа на подошвах подвергается большой механической нагрузке при ходьбе и беге. Неудивительно,

стая. На поверхности кожи образуются волнистые бороздки: мы сразу вспоминаем папиллярный рисунок на кончиках пальцев рук; впрочем, он имеется и на ладонях, подошвах и пальцах ног).

Внутренняя поверхность волнистого эпидермиса образует частично комплементарные друг другу структуры – первичные и вторичные эпидермальные сосочки, которые можно назвать отпечатками пальцев, направленными внутрь.

Само понятие отпечатков пальцев наполнено для нас особым эмоциональным и символическим смыслом. Это маркер человеческой неповторимости, записанный при помощи некоего неведомого кода. Папиллярный рисунок начинают формироваться у зародыша примерно на двадцать шестой неделе и к рождению уже таков, каким останется на всю жизнь. В традиции племен дине (известных также как индейцы навахо) именно из кожного рисунка пальцев истекают Духи Ветра – своего рода жизненная сила:

> На кончиках пальцев у нас есть завитки. Такие же есть у нас и на пальцах ног. Здесь и живут Ветра – там, где мягкая кожа, где есть спирали… Те Ветра, что истекают из завитков на пальцах ног, удерживают нас на Земле. Те, что истекают из завитков на пальцах рук, поднимают нас к Небу. Потому мы и не падаем, когда передвигаемся.[26]

Это чудесное описание одновременно и трогательно, и очень наглядно. Но какова биологическая функция узора на пальцах (а также на ладони, пальцах ног и подошве)? Уже долгое время существует гипотеза, что они помогают при захватывании предметов и лазанье, но в последнее время она поставлена под сомнение. Когда измерили трение между кончиком пальца и гладкой сухой поверхностью, оказалось, что, как ни странно, отпечатки пальцев снижают эффективность захвата примерно на 30 %. А вот если поверхность влажная или грубая, то отпечатки пальцев увеличивают трение и стабилизируют захват. В этом отношении они напоминают автомобильные покрышки: на гоночные автомобили, которые ездят только по гладким и сухим автодромам, ставят гладкие шины, чтобы максимально увеличить зону контакта между шиной и дорогой и тем самым обеспечить максимальное сцепление колеса с грунтом. Напротив, пассажирские автомобили обычно ездят по мокрым и неровным дорогам, и в этих условиях рифленые шины, по пазам которых вода утекает из зоны контакта, подходят лучше.

что клетки эпидермиса дольше обновляются на тех участках, где он очень плотный. Толщина дермы тоже варьируется – от 1 мм в подмышках до 2,5 мм на спине.

[26] McNeeley J. K. Holy wind in Navajo philosophy. Tucson: University of Arizona Press, 1981.

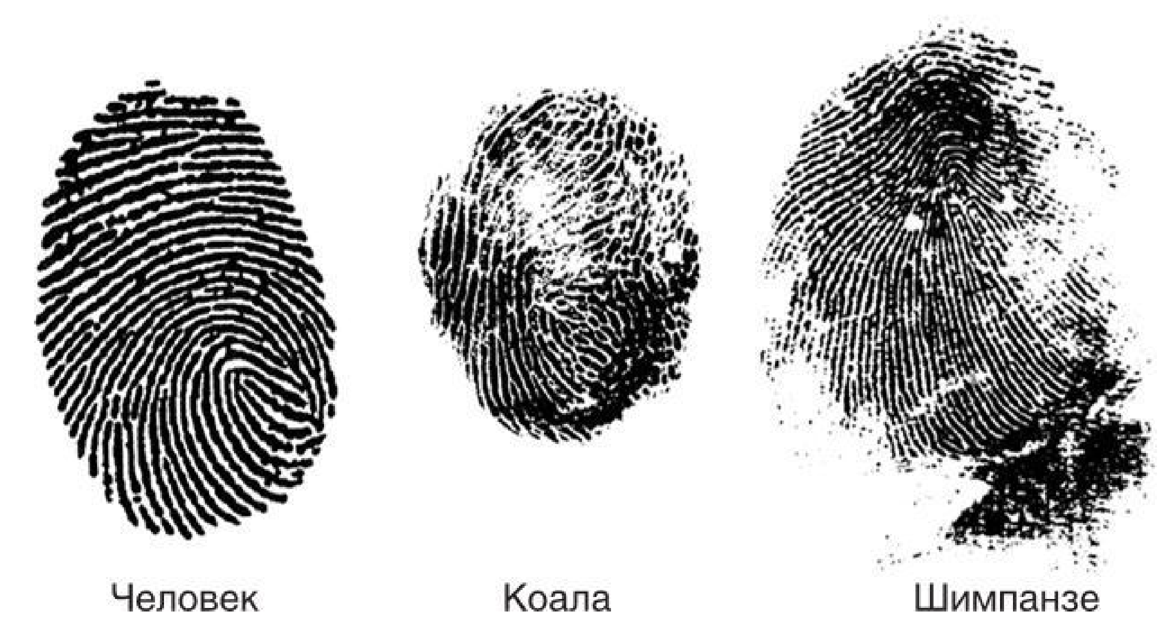


Рис. 2.2. Отпечатки пальцев человека, коалы и шимпанзе практически одинаковы. Эволюционные пути человека и коалы разошлись по меньшей мере 70 миллионов лет назад, однако отпечатки пальцев есть и у тех и у других, а вот у родственников коалы отсутствуют. Печатается по: Henneberg M. J., Lambert K. M., Leigh C. M. Fingerprint homoplasy: koalas and humans // Natural Science 1. 1997. Article 4, с разрешения Heron Publishing. Благодарю доктора Мачея Хеннеберга, Университет Аделаиды, Австралия

Рисунок на пальцах имеется не только у людей: он есть и у горилл и шимпанзе. Да и не у одних приматов, а у самых неожиданных групп других млекопитающих. В Австралии, например, он есть у коалы, но отсутствует и у их близкого родственника – волосатоносого вомбата, и у другого обитателя крон – древесного кенгуру.[27] Он есть у куниц-рыболовов, живущих в Северной Америке, но не наблюдается у их близких родственников из семейства куньих. На данный момент мы не вполне уверены, что наличие папиллярного рисунка у конкретных видов как-то связано с их способностью к захвату. При всей их символической значимости мы все еще не знаем, зачем нужны отпечатки пальцев.

Я до сих пор помню, как мама в детстве говорила мне: «Вылезай из ванны, а то будешь как чернослив!» Многие считают, что морщинки на пальцах рук и ног, которые образуются от длительного контакта с водой, – результат пассивного процесса, при котором вода постепенно впитывается отмершими клетками рогового слоя эпидермиса. Но еще в 1936 году было доказано, что это не так. Ключевым наблюдением в изучении этого феномена стало то, что сморщивания кожи на подушечках пальцев не происходит, если электрические сигналы не поступают в спинной мозг при рассечении нерва или его лекарственной блокировке, а ведь такие манипуляции не имеют никакого отношения к роговому слою. Особое влияние на сморщивание оказывает отдел подсознательной автономной нервной системы, именуемый симпатическим оттоком.[28]

Так в чем же смысл сморщивания, если, конечно, он есть вообще? Марк Чангизи и его коллеги из 2AI Labs предполагают, что морщинки на пальцах, как и папиллярные узоры, служат чем-то вроде дождевых протекторов, увеличивая сцепление с влажной поверхностью. Они

[27] См. в: Henneberg M. J., Lambert K. M., Leigh C. M. Fingerprint homoplasy: koalas and humans // NaturalScience 1, article 4 (1997). Те же авторы утверждают, что узор, подобный отпечаткам пальцев, наблюдается на хватательных хвостах у некоторых видов млекопитающих.

[28] Интересно, что гладкая кожа без симпатически контролируемых потовых желез (например, на пенисе и клиторе) при намокании не сморщивается.

отмечают, что реакция сморщивания кожи известна также у макак и шимпанзе, и считают, что это может быть результатом адаптации приматов к влажной скользкой среде.[29] Подкрепляют эту гипотезу результаты исследования Кириакоса Карекласа и его коллег из Университета Ньюкасла, показавшие, что люди со сморщенными подушечками пальцев гораздо быстрее перемещали мокрые кирпичи из одного контейнера в другой, чем люди с более гладкими подушечками. При этом никакого преимущества при перетаскивании сухих кирпичей сморщенные подушечки не давали.

Как распределены по коже специализированные рецепторы осязания и как это распределение влияет на наши осязательные ощущения? Этот вопрос оказался довольно сложным. Чтобы разобраться в нем, давайте возьмем какую-нибудь повседневную задачу и разобьем ее на крошечные этапы. Допустим, вы опаздываете в кино и с радостью обнаруживаете парковочное место на переполненной стоянке рядом с кинотеатром. Подойдя к допотомному механическому паркомату, вы обнаруживаете, что он принимает только четвертаки. Запустив руку в карман с монетами и прочей мелочью, вы ощупью ищете там четвертак, вынимаете его и опускаете в прорезь автомата. После этого вы беретесь за ручку и поворачиваете ее. При этом вы с удовлетворением ощущаете, как срабатывает храповой механизм, вибрации от падения четвертака с характерным звуком и, наконец, силу, с которой ручка вертится в обратную сторону, принимая исходное положение.

Такое прозаическое действие мы выполняем практически машинально, почти не прилагая умственных усилий, и тем не менее мы способны заткнуть здесь за пояс самых изощренных современных роботов, окажись они в подобной ситуации. Это свидетельствует о том, что даже самые простые задачи с участием осязания требуют обработки огромного потока информации (а также знаний об устройстве нашего организма и внешнего мира). Скармливая монетку парковочному автомату, мы задействуем четыре основных типа осязательных рецепторов и соответствующих им нервных волокон в гладкой коже кончиков пальцев (рис. 2.3).

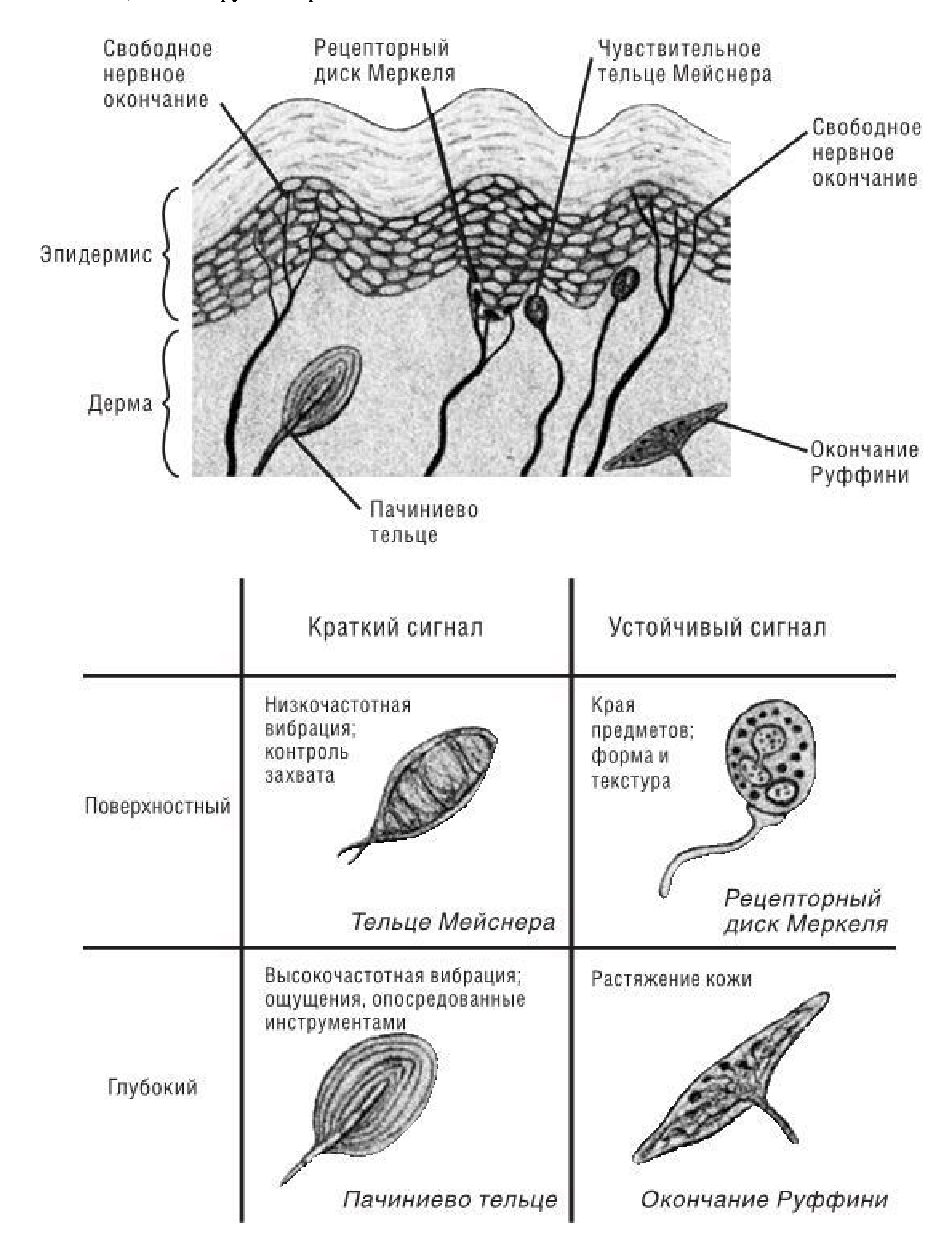
Начав копаться в кармане брюк (или в кошельке, или в рюкзаке) в поисках четвертака и пытаясь определить его исключительно на ощупь, вы обнаруживаете флешку, две слипшиеся таблетки ибупрофена, десятицентовик, пару центовых монеток и пятицентовик, пока наконец не понимаете по размеру и текстуре монеты (рельефу аверса и реверса и ребристому краю), что нащупали нужную. При этом активно работают все четыре типа осязательных рецепторов на коже, но главным из них – тем, который помогает определить края предметов, их кривизну и грубую текстуру, – будет так называемая осязательная клетка Меркеля. Она названа в честь немецкого анатома Фридриха Меркеля, который впервые описал ее в 1875 году и назвал *Tastzelle*, буквально «осязательная клетка». Эти специализированные клетки эпидермиса объединяются в диски по нескольку клеток в каждом. Диски находятся на вершинах первичных эпидермальных сосочков, на границе эпидермиса и дермы (рис. 2.3). Диск Меркеля контактирует с единственным нервным волокном, которое передает информацию от него к спинному мозгу, откуда она поступает в отдел головного мозга, отвечающий за осязание. Информация, передаваемая посредством изменения электрического потенциала, кодируется кратковременными изменениями напряжения, которые длятся всего около тысячной доли секунды и называются скачками.[30] Уже давно стоит вопрос о том, как механическая энергия деформации кожи

---

[29] Их гипотеза поддерживается следующим наблюдением: определенные рисунки бороздок и ложбинок на мокрых пальцах рук и ног хорошо выполняют дренажную функцию и копируют естественный дренаж горных склонов, хотя, разумеется, в гораздо меньшем масштабе.

[30] Электрические разряды (также именуемые потенциалами действия) – основное средство передачи данных на дальнее расстояние почти для всех нейронов, а не только для тех, которые отвечают за распространение информации от кожи к спинному и головному мозгу. Разность потенциалов по отношению к внешним мембранам у большинства нейронов в состоянии покоя составляет около –70 милливольт. Когда нейрон деполяризуется до уровня примерно –55 милливольт, открываются потенциалочувствительные ионные каналы, через которые устремляются ионы натрия. Поскольку эти ионы заряжены поло-

преобразуется в нервном окончании в электрический сигнал. Пока лучшая гипотеза такова: это происходит благодаря молекулам в мембране нервного окончания (так называемым ионным каналам), активируемым растяжением.



жительно, их вторжение в нейрон приводит к дальнейшей деполяризации – открываются новые ионные каналы, формируется цепь положительной обратной связи, сигнал быстро усиливается. Примерно через миллисекунду открываются потенциалочувствительные калиевые каналы, а натриевые закрываются. Ионы калия выходят, способствуя затуханию сигнала. Важно отметить, что сигналы могут распространяться от одного участка мембраны к другому, как пламя по бикфордову шнуру. Вот так сигналы и проходят по нервным волокнам от кожи в спинной мозг, а затем и в головной.

Рис. 2.3. В гладкой коже находятся четыре типа рецепторов механических стимулов. Диски Меркеля расположены в самой глубокой части эпидермиса, где он граничит с дермой, – на вершинах первичных эпидермальных сосочков. Чувствительные тельца Мейснера находятся в верхней части дермы, в ложбинках между вершинами эпидермальных сосочков, а пачиниевы тельца и окончания Руффини залегают глубже в дерме. Нервные окончания, получающие сигналы от телец Мейснера и Пачини, отправляют кратковременные электрические сигналы в мозг – только в начале и в конце прикосновения, а те окончания, которые работают с тельцами Руффини и клетками Меркеля, посылают устойчивый сигнал в течение всего осязательного контакта. Здесь также показаны свободные нервные окончания, которые воспринимают определенные химические соединения, температуру, боль и зуд. О них речь пойдет в следующих главах

Эти молекулы образуют пору, которая в состоянии покоя закрыта, но открывается при растяжении клеточной мембраны, впуская в нервную клетку положительные ионы натрия и кальция и тем самым генерируя скачок напряжения.[31]

Дисков Меркеля больше в коже губ и кончиков пальцев, меньше в других областях гладкой кожи и совсем мало в коже, покрытой волосами. Они чувствительны к очень незначительным воздействиям, которые приводят к изменению линии кожи на 0,05 миллиметра, и продолжают реагировать все сильнее (вызывая более сильные скачки напряжения) по линейному закону; максимальную реакцию они вызывают при растяжении кожи на 1,5 миллиметра. Записи электрических сигналов отдельных нервных волокон, передающих сигналы дисков Меркеля, показывают, что эти волокна продолжают посылать сигналы, пока кожа не придет в исходное положение.[32] Искусственная электрическая стимуляция отдельного нервного волокна, отвечающего за диски Меркеля и проходящего по плечу, вызывала у респондентов ощущение, как будто «по коже по касательной водят мягкой кисточкой».[33]

---

[31] Нужно отметить, что существует несколько различных групп ионных каналов, активируемых растяжением, и они присутствуют во многих типах клеток – от лейкоцитов до почечных клеток. В нервной системе эти ионные каналы также играют важную роль в клетках волосков внутреннего уха, где помогают преобразовывать механическую энергию звуковых волн в электрические сигналы, направляемые в мозг. Молекулярная природа ионных каналов, активируемых растяжением, пока не вполне ясна. В настоящее время лучшие кандидаты на роль ответственных за восприятие – белки пьезо-1 и пьезо-2.

[32] Хотя Меркель назвал открытые клетки *Tastzellen*, споры о том, действительно ли они являются осязательными рецепторами, не утихали много лет – точнее, 124 года. В 2009 году Худа Зогби с коллегами наконец-то доказала это, выведя при помощи генной инженерии мышей без клеток Меркеля. Записи с нервных волокон таких мышей показали отсутствие характерной реакции на легкие прикосновения. Порой наука требует изрядного терпения. Некоторые важные вопросы остаются без ответа до сих пор: где именно сила растяжения кожи преобразуется в электрический сигнал? В клетках Меркеля, в связанных с ними нервных волокнах или и там, и там? Если клетки Меркеля удалить генетическим способом, электрической реакции в осязательных нервных волокнах не происходит, но объяснений этому может быть несколько:а) клетки Меркеля участвуют в механической передаче силы растяжения кожи на мембраны нервных волокон, где при помощи пьезобелков и формируемых ими пьезоканалов она трансформируется в электрические сигналы. При удалении клеток Меркеля отклика от нервных волокон не поступает, потому что их окончания не подвергаются должному механическому возбуждению;б) клетки Меркеля преобразуют механическую силу в электрические сигналы, а затем испускают химический сигнал (нейромедиатор), который генерирует электрический импульс в нервных окончаниях;в) когда клетки Меркеля генетическим способом удаляются у мышей-мутантов, побочные эффекты развития не дают нервным волокнам преобразовывать силу в электрические сигналы, хотя у нормальных мышей все происходит именно так (как, вероятно, и у людей).Пока эта книга готовилась к печати, поступил новый отчет, проливающий свет на эту интересную проблему. Методом генной инженерии были получены мыши, у которых ионный канал пьезо-2, активируемый растяжением, был удален из клеток кожи (в том числе клеток Меркеля), но не из сенсорных нервов. У этих мышей в клетках Меркеля отсутствовал производимый осязанием электрический ток, при этом чувствительность гладкой кожи к тонкой механической стимуляции снизилась, но не исчезла совсем. Это предполагает наличие двусторонней модели переноса механической энергии как клетками Меркеля, так и сенсорными нервами, то есть своего рода гибрид моделей а) и б), приведенных выше.

[33] Этот метод требует от экспериментатора большого искусства, а от участника эксперимента – недюжинного терпения. Требуется вручную ввести в руку очень тонкий электрод (диаметр кончика – 0,01 мм), тщательно отыскав одиночное тактильное нервное волокно, исходящее из руки, для записи сигналов и, в некоторых случаях, для стимуляции этого волокна. Такие эксперименты могут длиться часами. Отметим, что стимуляция одиночных механосенсорных нервных волокон способна вызвать четкие осязательные ощущения и активировать определенные участки мозга, что видно при картографирова-

Диски Меркеля позволяют нам кончиками пальцев различать отдельные признаки поверхностей – например, грубые насечки на ребре четвертака. Следует отметить, что способность дисков Меркеля передавать осязательные характеристики объясняется их структурой, расположением и связями. Поскольку клетки Меркеля находятся в довольно близком к поверхности слое кожи, они реагируют на мельчайшие изменения этой поверхности. А поскольку в кончиках пальцев этих клеток огромное количество и каждая связана с собственным нервным волокном, такой спектр рецепторов может сообщить о различии поверхностей объектов, даже если разница между ними составляет всего 0,7 миллиметра.[34]

Итак, вы распознали четвертак. Вы зажимаете его между большим и указательным пальцами и начинаете вынимать его из кармана, а затем подносите к прорези автомата. Как определить силу, приложенную вами при этом зажимающем движении? Вы едва ли собираетесь применять максимальную силу, рискуя сломать себе кости при захвате всего подряд: возможно, четвертак и не пострадает, а вот с яйцом или детской ладошкой могут возникнуть проблемы. Но и слишком малая сила не подойдет: четвертак просто выскользнет из пальцев. В идеале неплохо было бы применить минимально необходимую для удержания четвертака силу. В этой задаче вы полагаетесь в основном на другой кожный рецептор, именуемый тельцем Мейснера (рис. 2.3). Как и диски Меркеля, тельца Мейснера расположены на границе дермы и эпидермиса.[35] Они находятся в дерме, в бороздках между сосочками, где эпидермис тоньше всего. Каждое тельце Мейснера состоит из уложенных в спираль нервных окончаний, переплетенных со слоями ненейронных клеток – так называемых шванновских. Вместе они образуют луковичную замкнутую структуру – тельце, которое присоединено к близлежащим клеткам кожи структурными нитями, состоящими из белка коллагена. Тельца Мейснера физически деформируются при натягивании этих нитей, когда кожа растягивается, и возвращаются в исходное состояние, когда растягивающий объект удаляется.

Плотность телец Мейснера на кончиках пальцев еще выше, чем плотность дисков Меркеля, а расположены они еще ближе к поверхности кожи. Эти наблюдения наводят на мысль, что тельца Мейснера тоже призваны передавать информацию о тонких свойствах объектов – текстуре, краях, кривизне, – но при записи электрических импульсов, поступающих от нервных волокон, которые пронизывают скопления телец Мейснера, мы получаем совсем другие реакции. Во-первых, волокна Мейснера посылают сигналы лишь в самом начале и самом конце продолжительного воздействия на кожу: когда деформация кожи только начинается и когда все возвращается на место. Это означает, что, в отличие от дисков Меркеля, тельца Мейснера не так хорошо реагируют на устойчивое приложение силы к коже, но резко активируются слабыми низкочастотными вибрациями, которые постоянно меняют форму кожи и восстанавливают ее. Во-вторых, одно свободное нервное окончание передает и собирает сигналы многих телец Мейснера, распределенных по 10 квадратным миллиметрам поверхности кожи. Даже

нии мозга и ЭЭГ.

[34] Хотя в каждом окончании Меркеля имеется единственный сенсорный аксон, один этот аксон может отвечать за 10–50 дисков, расположенных в зоне от 1 до 3 мм. То, что диски Меркеля могут слабо реагировать на небольшие растяжения и сильно – на серьезные (и эта зависимость линейна), не удивляет, но этот факт оказывается принципиально важным для восприятия кривизны объектов – например, помогает отличить ребро цента от ребра пятицентовой монеты. Если увеличить и рассмотреть зону контакта кончика вашего пальца с центом, мы увидим, что кожа натягивается сильнее всего в центре, а по направлению к краям степень растяжения снижается. Конечно, скорость снижения растяжения кожи будет пропорциональна кривизне объекта – меньше для десятицентовика и больше для цента. Плотный слой нервных окончаний дисков Меркеля выдает точную информацию об уровне растяжения, а затем эта информация передается в головной мозг, который и оценивает приблизительную кривизну объектов.

[35] Если вы начали подозревать, что немецким анатомам XIX столетия принадлежит выдающаяся роль в описании клеточной структуры, то вы правы. Тельце Мейснера было открыто Георгом Мейснером и его учителем Рудольфом Вагнером из Геттингенского университета и описано в публикации 1852 года. На следующий год Мейснер снова опубликовал работу об этих структурах, на сей раз не упомянув Вагнера в числе авторов. Последовал спор о первенстве, который так и не разрешился до самой смерти Вагнера в 1864 году.

несмотря на то, что тельца Мейснера очень плотно расположены на кончиках пальцев, записи электрических сигналов показывают, что эти клетки не распознают тонкие особенности предметов. Конвергентное соединение системы Мейснера приспособлено для того, чтобы с исключительной чуткостью улавливать мельчайшие, быстрые движения кожи, но локализовать эти движения может лишь с умеренной точностью.

Однако какое отношение все это имеет к тому, чтобы нормально зацепить четвертак? Оказывается, что, когда вы захватываете и перемещаете объект, он совершает микроскопические движения по вашей коже. Эти движения и обнаруживаются системой Мейснера, которая отправляет электрические сигналы нейронам спинного мозга, а те сокращают соответствующие мышцы пальцев, увеличивая силу захвата, пока эти движения не прекратятся. Это позволяет вам аккуратно манипулировать предметами, используя минимально необходимую силу для каждой задачи. Поскольку контроль захвата системой Мейснера управляется спинным мозгом, он работает на уровне рефлексов и не всегда отмечается вашим сознанием. Нам незачем думать о том, как бы покрепче зацепить четвертак, вынимая его из кармана и поднося к прорези для монет: это происходит само собой.

Чтобы сполна осознать, как анатомия и физиология телец Мейснера на кончиках пальцев позволяет добиться точного контроля захвата, давайте позволим себе немного научной фантастики. Представьте альтернативную биологию человека, в которой тельца Мейснера посылают сигналы в течение всего периода воздействия на кожу, а не только в начале и в конце. Если бы дело обстояло так, они были бы чувствительны к непрерывному приложению силы, ведь они расположены прямо в пальцах.

В этой альтернативной модели реакция телец Мейснера на значительную непрерывную силу затмила бы небольшие сигналы, производимые микроперемещениями на локальном уровне. Полезные сигналы о силе захвата потонули бы в море шума, так что хорошо контролировать захват не удалось бы. А без хорошего контроля захвата мы не смогли бы овладеть орудиями, а следовательно, с большой вероятностью и человеческой культурой в том виде, в каком мы ее знаем. Иногда даже мельчайшие, казалось бы ненужные, биологические детали оказываются решающими.

Итак, вы наконец готовы отправить четвертак в прорезь парковочного автомата. Опуская туда монету, вы начинаете испытывать поступающие от нее ощущения: вот она соприкасается с внешними стенками прорези, и вы подсознательно используете этот тактильный ответ, чтобы изменить траекторию движений руки, ладони и пальцев и просунуть монету более точно. В этой задаче главную роль играет рецептор, именуемый пачиниевым тельцем.[36] Пачиниевы тельца выглядят очень мило (см. рис. 2.3), каждое из них состоит из одного нервного волокна, обложенного множеством концентрических слоев поддерживающих клеток, пространства между которыми заполнены межклеточной жидкостью. В разрезе они похожи на луковицу или на задание в инженерном конкурсе для старшеклассников, где требуется изобрести легкий футляр для защиты яйца, которое нужно сбросить с крыши дома.[37] В каждом пальце примерно 350 пачиниевых телец, они расположены в более глубоких частях дермы. Записи электрических сигналов от пачиниевых телец показывают, что, как и тельца Мейснера, они плохо реагируют на длительное приложение силы, а отправляют импульсы только в начале и в конце воздействия на кожу. Малоприспособленные для анализа поверхности объекта, пачиниевы тельца исключительно чувствительны к мелким вибрациям и контролируют

---

[36] Пачиниевы тельца были открыты в 1831 году в ходе планового вскрытия трупов итальянским анатомом Филиппо Пачини, когда тот был еще студентом медицинского университета в Пистойе (небольшой город в Тоскане). (Этот пример должен вдохновлять медиков всего мира!) Впервые он опубликовал свое открытие чуть позже, в 1840 году. Пачиниевы тельца также именуются пластинчатыми, поскольку состоят из нескольких пластин.

[37] Их концентрическая пластинчатая структура напоминает знаменитую фотографию поперечного сечения артишока, сделанную Эдвардом Уэстоном: http://www.masters-of-photography.com/W/Weston_artichoke_halved_full.html.

немалое пространство: одно пачиниево тельце на кончике пальца благодаря своему глубокому расположению и многослойной обертке может быть активировано вибрациями, возникшими в любом месте пальца. В определенном смысле свойства телец Мейснера (чувствительность к мелким вибрациям и нечувствительность к продолжительному приложению силы или мелким пространственным деталям) у пачиниевых телец доводятся до предела. Пачиниевы тельца наиболее чувствительны к высокочастотным вибрациям в диапазоне 200–300 Гц, на которых они могут выявить передвижение кожи всего на 0,00001 миллиметра (в двести раз меньше диаметра пушкового волоса).

В детстве я любил смотреть на сейсмограф в обсерватории Гриффита в своем родном Лос-Анджелесе. При помощи чернильных перьев, чертивших причудливые линии на ленте регистратора, этот исключительно чувствительный инструмент мог зафиксировать колебания от землетрясения в Японии, распространяющиеся через весь Тихий океан, или от испытания бомбы в Неваде за сотни миль от Калифорнии. Его могли активировать и тридцать шумных школьников, прыгающих в той же комнате, в которой находился сам инструмент (поверьте, этот эксперимент я проводил сам). Но без контекстной информации от других сейсмографов, расположенных в других местах, инструмент из Гриффит-парка не отличил бы одно событие от другого. Грубо говоря, пачиниево тельце устроено в соответствии с теми же принципами, что и сейсмограф: исключительная чувствительность к вибрациям за счет отказа от локализации.[38]

Еще одна функция пачиниевых осязательных рецепторов состоит в создании очень точного нейронного представления об импульсных и колебательных стимулах, передающихся руке через предмет, который в этой руке находится. Этот предмет может быть, как в нашем случае, четвертаком, или, что более важно, инструментом или щупом. Когда мы используем инструмент – например, лопату, – мы можем улавливать тактильные события, которые происходят на рабочем конце инструмента, почти с такой же четкостью, как если бы они происходили с нашими пальцами. Представьте себе, что вы сначала копали щебенку, а затем перешли на мягкий перегной. Вы легко отличите свойства щебенки от свойств перегноя посредством лопаты, несмотря на то что ваши руки находятся довольно далеко от места контакта. Более того, с опытом наша способность интерпретировать такую удаленную осязательную информацию улучшается. Таким образом, смычок скрипача, скальпель хирурга, гаечный ключ механика или резец скульптора становятся практически продолжением тела.

И этот эффект не ограничивается простыми инструментами. Водители-энтузиасты поют дифирамбы «чувству дороги» – достоверности тактильной информации о дорожной поверхности, передаваемой рукам водителя через целый ряд взаимосвязанных механических деталей (шины, колеса, рулевые наконечники, рулевая колонка, сам руль). Шоферы расстраиваются, когда появившиеся новые технические возможности нарушают привычное «чувство дороги». Вот что писал Лоуренс Ульрих в обзоре *Porsche Booster* 2013 года в *New York Times:*

> Как и любая другая компания, мечтающая снизить расход бензина, *Porsche* заменяет традиционное гидравлическое управление электроусилителями. Описать разницу между гидравлическим и рулевым управлением непросто. Но раньше вести «порше» было словно проводить рукой по лицу, закрыв глаза, – кончиками пальцев можно почувствовать все складки, волоски и ямочки, то есть вы получали четкое тактильное представление о дороге. Электроусилитель несколько притупляет ощущения.

Поэтому, когда вы в следующий раз сядете за руль своего старомодного «порше» с гидроусилителем и будете наслаждаться дорогой на ощупь, знайте: это ощущение формируется пачи-

[38] Конечно, землетрясения и испытания бомб тоже несут определенную частотную информацию, и, чтобы их вызвать, прыгающие дети должны обладать удивительной способностью контролировать движения. Так что это был всего лишь мысленный эксперимент.

ниевыми тельцами. Более того, даже если вы слишком сильно нажали на газ и теперь в ужасе вцепились в руль, вы все равно сможете воспринимать эти чудесные ощущения от дороги, поскольку пачиниевы тельца сообщают информацию только о высокочастотных вибрациях, передаваемых через рулевое колесо, а не о постоянном усилии, прилагаемом вашими побелевшими пальцами.

Но вернемся к парковке. Услышав, что монетка упала в приемник, вы беретесь за ручку и начинаете ее поворачивать. Это действие активирует все три упомянутых ранее типа рецепторов. Клетки Меркеля дают вам информацию о краях и кривизне ручки, как и о постоянной силе ее сопротивления вашему нажиму. Тельца Мейснера воспринимают низкочастотные вибрации и сигналы о микроскопических перемещениях, которые вы рефлекторно используете, чтобы усилить захват ручки. Пачиниевы тельца передают сигнал о высокочастотных колебаниях внутреннего храпового механизма автомата. Четвертая система, которая вступает в игру в этот момент, связана с восприятием горизонтального растяжения кожи и именуется окончаниями Руффини. Окончания Руффини образуют вытянутые капсулы в глубоких подслоях дермы, где нервные окончания переплетаются с коллагеновыми волокнами кожи (рис. 2.3).[39] Продольная ось окончаний Руффини обычно идет параллельно поверхности кожи, что, возможно, объясняет их высокую чувствительность к горизонтальному натяжению и меньшую чувствительность к деформации кожи. Окончаний Руффини в подушечках пальцев гораздо меньше, чем рецепторов трех остальных типов, поэтому с пространственной локализацией дело у них обстоит туго. Записи сигналов от нервных волокон Руффини показывают, что они испускаются при длительных растяжениях и имеют довольно слабую чувствительность к вибрациям. Стимуляция одиночных нервных волокон Руффини иногда может вызвать ощущение растяжения кожи.

Как именно мозг пользуется информацией, поступающей от окончаний Руффини, пока не вполне понятно. Их сигналы могут помочь распознать движения предметов по поверхности кожи, поскольку такой предмет растягивает кожу на каком-то участке. Более интересно предположение о том, что окончания Руффини предоставляют мозгу информацию об изменении конфигурации рук и пальцев при помощи сигналов о растяжении кожи: например, если вы вытягиваете пальцы, на подушечках натягивается гладкая кожа.[40] Предполагается также, что окончания Руффини выполняют подобную функцию и для всех конечностей, при этом горизонтальное растяжение кожи свидетельствует о положении конечности. Например, волосистая кожа локтя растягивается вместе с локтевым суставом, что помогает известить мозг о состоянии руки и ее готовности к определенным движениям.

Четыре типа осязательных рецепторов гладкой кожи, приведенные на рис. 2.3, обладают великолепной функциональной симметрией: два рецептора находятся в глубине и два – почти на поверхности; одни отправляют кратковременные сигналы, другие – постоянные. Предусмотрены все возможности. Эти четыре потока информации поступают в спинной мозг независимо. Одно нервное волокно отвечает за один тип рецепторов: оно не может, например, одновременно контактировать с пачиниевым тельцем и окончанием Руффини. Каждый из четырех типов нервных волокон – это «выделенная линия», созданная для передачи единственного типа информации прямо к спинному мозгу и мозговому стволу.[41]

---

[39] Окончания Руффини впервые описаны итальянским анатомом Анджело Руффини.

[40] Наличие окончаний Руффини в гладкой коже рук до сих пор оспаривается. Например, судя по всему, их нет на подушечках пальцев обезьян: они имеются лишь у ногтей.

[41] Хотя в нервных волокнах, которые передают информацию от механорецепторов, сигналы от нескольких детекторов не смешиваются, такие «выделенные линии» не сохраняются на протяжении всего пути до головного мозга. На каждом промежуточном этапе определенное смешение все же происходит. В дальнейшем мы узнаем, что смешение сигналов способно вызывать изменения в осязательном восприятии: например, в спинном мозге существуют нейроны, которые возбуждаются от слабых прикосновений (механосензитивно) и температуры либо, например, от слабых прикосновений и боли.

Четыре системы осязательных рецепторов, которые мы рассмотрели, называются механорецепторами, поскольку они обладают общей способностью преобразовывать механическую энергию воздействия на кожу в электрические сигналы. Но в коже присутствуют и рецепторы, реагирующие на немеханические стимулы. И в волосистой, и в гладкой коже есть свободные нервные окончания, которые заканчиваются в эпидермисе (рис. 2.3 и 2.4) и отвечают за восприятие боли, зуда, определенных химических веществ, воспаления и температуры. Пока не забивайте себе голову этой информацией: мы вернемся к иным ощущениям кожи в следующих главах.

В колледже у меня был друг Чак – профессиональный пловец мощного телосложения, который регулярно брил руки, ноги и грудь, считая, что депилированное тело лучше скользит по воде. Я, впрочем, сомневался, что его мотивация была связана исключительно с гидродинамикой. Когда я стал его дразнить, он закатил глаза и признался низким глубоким голосом: «Может, на скорость плавания это вообще никак не влияет, но мне очень нравится ощущение скольжения ночью по простыням».

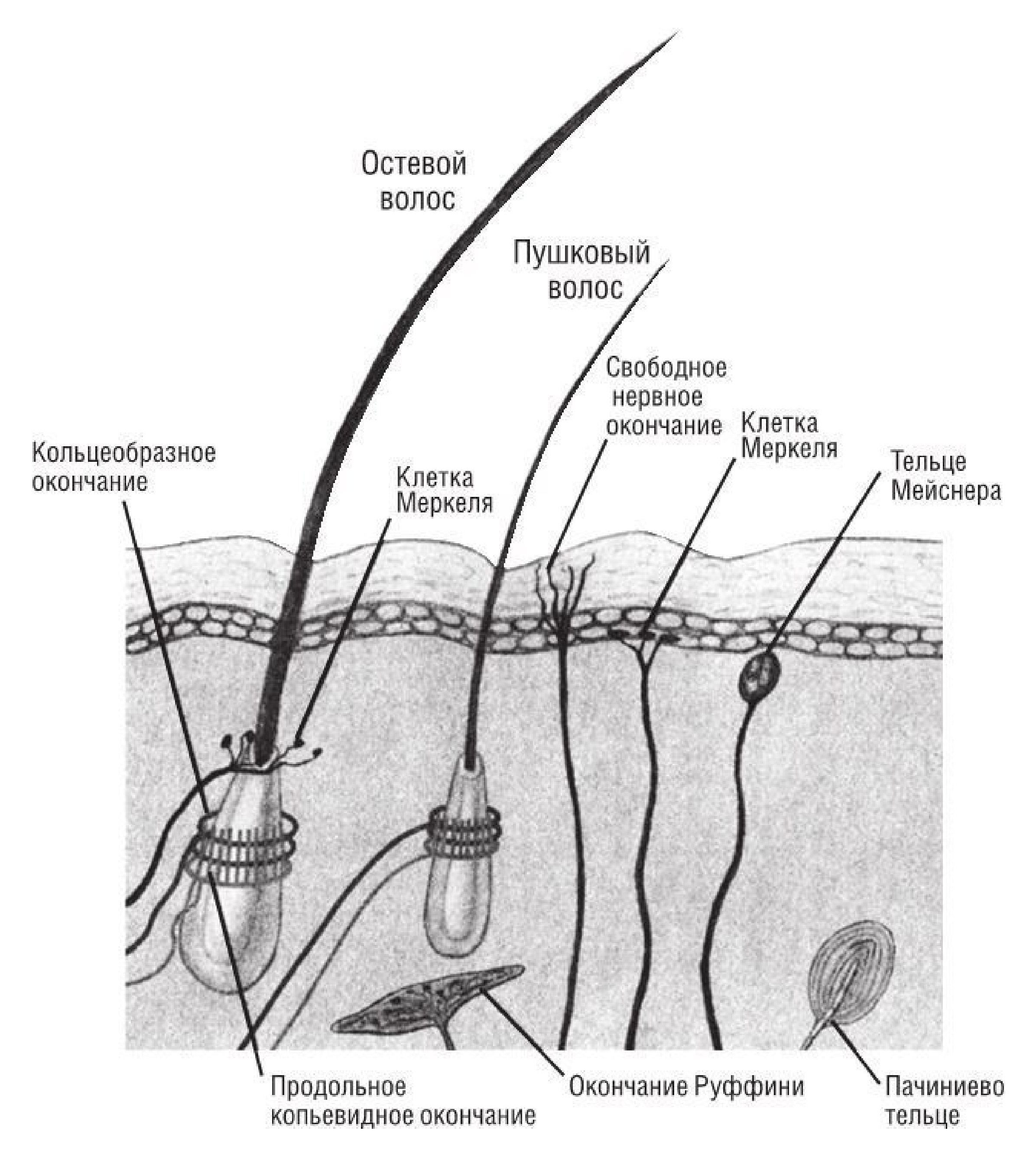


Рис. 2.4. Иннервация волосистой кожи. У остевых волосков на ближней поверхности части луковицы формируются скопления клеток Меркеля. Остевые и пушковые волосы пронизаны продольными копьевидными и кольцеобразными окончаниями. Здесь продольные копьевидные окончания показаны как единый комплекс. На самом деле существует как минимум три типа продольных копьевидных окончаний, каждое из которых в ответ на изгибание волоса порождает свой сигнал. Если сравнить анатомию осязательных рецепторов в гладкой и волосистой коже, станет очевидно, что, хотя оба вида поверхности соседствуют и имеют общее происхождение, это по сути два разных органа, каждый из которых в ходе эволюции приспособился реагировать на разные виды тактильной стимуляции

Осязательные ощущения волосистой кожи исследованы гораздо меньше, чем кожи гладкой. В волосистой коже присутствуют те же четыре вида механорецепторов, что и в гладкой, но обычно в гораздо меньшем количестве. Как признал Чак, ощущения волосистой кожи во многом определяются взаимодействием волосков и окружающих тканей. В волосистой коже комплексы из клеток Меркеля и соответствующих им волокон располагаются в скоплениях

вокруг луковиц остевых волос, где могут деформироваться из-за сгибания волоса и выдавать устойчивый сигнал.

Но основной рецепторный сигнал об изгибе волоса краток и посылается специализированными свободными нервными волокнами, которые окружают основание волосяной луковицы таким образом, что напоминают вертикальные прутья тюремной решетки (рис. 2.4). Они называются продольными копьевидными окончаниями и могут фиксировать даже очень небольшие изгибы волос. Как и наши домашние кошки, мы знаем, что одно дело – когда тебя гладят по направлению роста волос и совсем другое – если против него. Это объясняется способностью продольных копьевидных окончаний по-разному реагировать на отклонения волос в сторону кожи и от нее.[42] Волосы также иннервируются кольцеобразными нервными окончаниями в форме лассо, которые особенно чувствительны к тянущим движениям, что особенно радует мальчишек всего мира (дергающих девчонок за косички).

Луи Брайль родился в 1809 году в Кувре – небольшом городке в 40 километрах от Парижа – и был младшим из четырех детей в семье. Его отец Симон Рене был сапожником, и Луи еще в раннем детстве любил играть в его мастерской. В трехлетнем возрасте Луи вздумалось поиграть с шилом. Для лучшего обзора он положил голову на верстак, и, когда пытался проткнуть шилом кусок кожи, случилось страшное: острое шило прошло сквозь кожу и попало ему в глаз. В раненом глазу началось заражение, которое затем перешло на другой глаз. В пять лет Луи полностью ослеп. (Дело было задолго до появления антибиотиков.) Вскоре Луи научился передвигаться по городу с помощью трости, которую смастерил отец, твердо решивший сделать все возможное, чтобы его ребенок полноценно взаимодействовал с окружающим миром. В школе Луи поразил учителей своим умом и решительностью, и в десять лет ему предложили поступить в специальное учебное заведение – только что появившуюся в Париже Национальную школу для слепых детей.

Эта школа, одно из первых в мире учреждений для слепых, была основана филантропом и педагогом Валентином Гаюи, который стал ее директором. Учеников учили читать и писать по разработанной Гаюи системе: буквы латинского алфавита, изготовленные из медной проволоки, впечатывались в толстую бумагу, а полученные отпечатки можно было «читать» пальцами. Система Гаюи была полезной, но довольно ограниченной. Чтобы различать буквы, требовалось совершать много мелких движений, так что скорость чтения была очень низкой. Поскольку матрицы букв приходилось делать большими, на одной странице удавалось разместить всего несколько предложений, потому на выпуск книг по системе Гаюи уходило много времени и денег. (Когда Луи поступил в школу, там было всего три такие книги.) Ну и конечно, слепые дети не могли таким методом научиться писать: для этого понадобилась бы целая мастерская.

Луи успешно учился по имевшимся книгам Гаюи и слушая лекции, но мечтал о создании новой системы чтения и письма для слепых, более быстрой и простой. В 1821 году, когда ему было всего двенадцать, он услышал о системе осязательного письма, изобретенной капитаном французской армии Шарлем Барбье. Его «ночное письмо» было придумано для полевых условий, когда нельзя говорить или подавать световые сигналы, чтобы не навлечь на себя огонь противника. Система Барбье состояла из выпуклых точек и тире. Она превосходила систему Гаюи, поскольку обученный солдат мог прочитать ее единым прикосновением руки, но была слишком медленной и неудобной для чтения длинных отрывков текста. Вдохновляясь системой письма Барбье, Луи начал работу над более компактным и эффективным тактильным алфавитом. Поработав с шилом – тем самым инструментом, который ослепил его много лет назад, –

[42] З. раздражает, если я глажу ее по руке против направления роста волос. Она говорит: «Если бы ты так гладил кошку, она бы тебя укусила или бы, по крайней мере, ушла».

Луи придумал компактную матрицу 2 × 3 из выпуклых точек и создал код, в котором каждой букве латинского алфавита соответствовал уникальный набор точек. Он также разработал желобчатые доски и стилус, с помощью которых слепой мог легко писать на бумаге. Поразительно, но к пятнадцати годам он практически закончил работу над письменностью для слепых, которая ныне носит его имя.

Став учителем в той же школе, Луи продолжал выпускать книги по своей системе письменности и еще одной рельефно-точечной системе, которую разработал для записи нот. К сожалению, шрифт Брайля не был взят на вооружение при его жизни – ни в школе, где он работал, ни где-либо еще. Директор Гаюи, который был зрячим, больше интересовался пропагандой собственного метода письма, который легко читали и зрячие.

В результате нараставших протестов со стороны учеников Брайля его шрифт был наконец принят в Национальной школе, но только через два года после его смерти от туберкулеза в возрасте 43 лет. Вскоре шрифт распространился по всему франкоязычному миру, но за его пределы шагнул далеко не сразу: так, в США его официально не принимали до 1916 года. Сегодня шрифт Брайля – это мировой стандарт. В мире применяются различные его адаптации, в том числе и для языков с отличным от латинского алфавитом (греческого и русского), и для языков, использующих иероглифы (китайского); есть механические прессы Брайля и даже компьютерные интерфейсы для этого шрифта.

Средняя скорость чтения людей, хорошо владеющих шрифтом Брайля, – около 120 слов в минуту, а самые проворные успевают прочесть до 200 слов в минуту.[43] Это требует невероятно быстрой обработки тактильной информации: каждый символ шрифта Брайля нужно успеть распознать примерно за двадцатую долю секунды (50 миллисекунд). Когда Луи Брайль разрабатывал свою систему письма, он ничего не знал о свойствах пачиниевых телец, окончаний Меркеля или рецепторных нервов. Он просто пользовался собственным осязательным опытом, тщательно расставляя точки – достаточно далеко друг от друга, чтобы одну точку не перепутали с соседней, и достаточно близко, чтобы всю решетку со сторонами 2 и 3 можно было воспринять кончиком пальца.

Какие из четырех механорецепторов работают при дешифровке символов Брайля? Чтобы ответить на этот вопрос, Кеннет Джонсон и его коллеги из медицинской школы Университета Джона Хопкинса записали сигналы отдельных нервных волокон исследуемого при сканировании им кончиками пальцев символов шрифта Брайля. Полученные электрические импульсы были собраны в матрицу, и таким образом удалось визуализировать информацию, переданную четырьмя различными типами нервных волокон (рис. 2.5А). Этот замечательный эксперимент показал, что точки Брайля достоверно распознаются только волокнами Меркеля. Волокна Мейснера сформировали довольно размытое изображение, а рецепторы, расположенные глубже (пачиниевы тельца и окончания Руффини), вообще не смогли распознать точки Брайля. Когда эксперимент повторили с уменьшенными выпуклыми буквами Гаюи, волокна Меркеля тоже справились с задачей, но полученное нейронное изображение отражало неопределенность, изначально заложенную в системе Гаюи. Посмотрев на рисунок 2.5В, можно заметить, что нейронные ответы на некоторые буквы легко перепутать: C, G, o и Q почти одинаковы; R очень напоминает H, а P похожа на F. И действительно, когда участников эксперимента попросили назвать латинские буквы после их осязания, они чаще всего путали буквы этого ряда.

[43] Для сравнения: средняя скорость чтения английского текста зрячим человеком составляет около 250 слов в минуту. Как при зрячем чтении, так и при чтении шрифта Брайля существует компромисс между скоростью и точным пониманием текста.

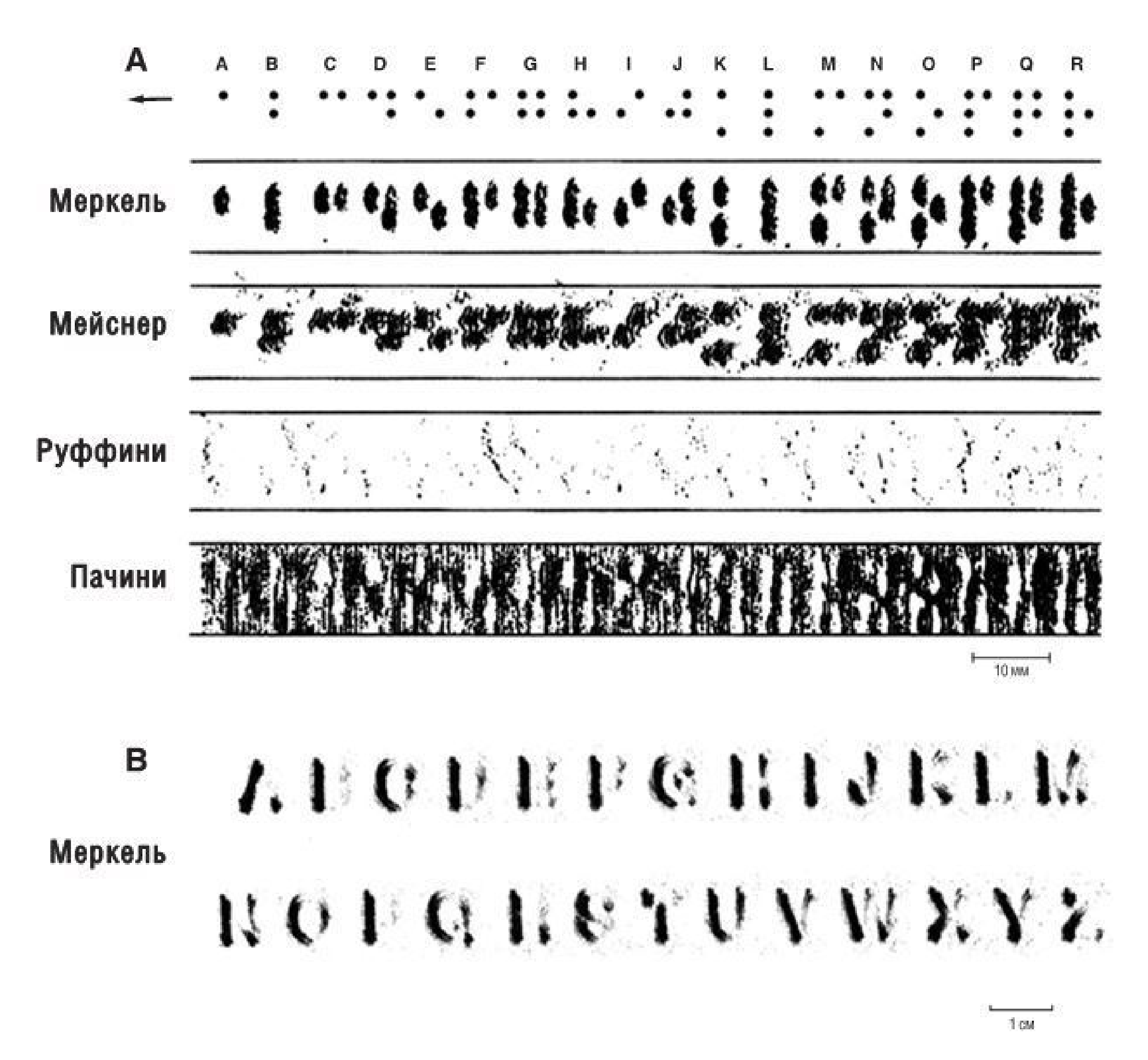


Рис. 2.5. Реакция одиночных аксонов, расположенных на кончиках пальцев человека, на шрифт Брайля и выпуклые латинские буквы Гаюи. (А) Символы Брайля «читались» пальцами со скоростью примерно 60 миллиметров в секунду и записывалась соответствующая электрическая активность волокон разных типов. Изображение создавалось так: когда в волокне порождался импульс, ставилась точка и проводилась горизонтальная линия. Затем шаблон Брайля вертикально перемещался на 0,2 миллиметра и вновь сканировался, процесс повторялся – получилось растровое изображение. Символы Брайля достоверно удалось распознать только клеткам Меркеля. Реакция телец Мейснера оказалась более размытой, а глубоко расположенные рецепторы – тельца Пачини и Руффини – вообще не дали информации о точках Брайля. Печатается в адаптированном виде по: Phillips J. P., Johansson R. S., Johnson K. O. Representation of Braille characters in human nerve fibres // Experimental Brain Research 81. 1990. 589–592, с разрешения Springer. (B) Реакция волокон Меркеля на выпуклые латинские буквы достаточна, чтобы что-то понять, но возможны ошибки в интерпретации. Печатается по: Vega-Bermudez F., Johnson K. O., Hsiao S. S. Human tactile pattern recognition: active versus passive touch, velocity effects, and patterns of confusion. Journal of Neurophisiology 65. 1991. 531–546, с разрешения Американского физиологического общества

Мне нравятся разговоры в подпитии, когда стеснительность отступает, и люди задают вопросы, которые могут показаться глупыми, но на деле касаются довольно важных вещей. Много лет назад я разговаривал со своей подругой К. (не из научного сообщества) об осязании, и она задала такой замечательный вопрос: если вы – слепой, знаете шрифт Брайля, но потеряли пальцы, удастся вам научиться читать его при помощи других чувствительных орга-

нов – например, гениталий? Ведь они, заметила она, дают сильную реакцию на самые легкие прикосновения. Я ответил ей, что гениталии (мужские и женские, гладкая и волосистая зоны) *чувствительны* в том смысле, что распознают легчайшие деформации кожи. Но они обладают низкой *избирательностью*, то есть не дают возможности различить точное расположение, текстуру или форму объектов, взаимодействующих с кожей. Эти зоны кожи лишены способности различать прикосновения, поскольку в них недостаточно поверхностных осязательных рецепторов, в особенности дисков Меркеля.

К. отнеслась к моему пояснению скептически, так что, расспросив меня о том, как вообще ставить эксперимент, решила провести собственное исследование. Она взяла циркуль с тупыми концами, повязку на глаза и добровольца (собственного мужа). Он должен был постоянно прижимать к ее малым половым губам концы циркуля, изменяя расстояние между ними от 1 до 20 миллиметров и отмечая, чувствует она раздражитель как одиночный предмет или как два разных. Это стандартный способ картирования кожи, он называется пороговым тестом на двухточечную дискриминацию. Затем роли поменялись, и теперь К. делала то же самое с пенисом мужа.[44] Результаты этих эксцентричных действий оказались следующими: порог двухточечной дискриминации на малых половых губах составлял примерно 7 миллиметров, на пенисе – 5 миллиметров для гладкой кожи на головке и 12 миллиметров для волосистой кожи у основания. Для кончиков пальцев этот показатель составляет 1 мм, что доказывает: читать шрифт Брайля собственной промежностью не получится. Впрочем, не все эрогенные зоны так плохо различают пространственные детали. Губы и язык содержат окончания Меркеля в большом количестве, а потому хорошо различают пространственное положение и подходят для чтения шрифта Брайля.[45]

У нейронов обычно есть клеточное тело, которое содержит ядро с упакованной в нем ДНК, и другие органеллы, а также два разных вида вытянутых волокон – дендриты и аксоны. Дендрит – разветвленная структура для приема сигнала, которая пассивно проводит электрические сигналы через клеточное тело к аксону, ответственному за передачу информации от нейрона. В начале аксона есть особая зона, которая возбуждает сигналы-импульсы. Эти импульсы способны, возобновляясь (как огонь, движущийся по запалу и непрерывно воспламеняющий следующий его участок), передаваться на значительные расстояния.

Когда сигнал достигает окончания аксона, происходит быстрая серия биохимических реакций, в результате чего высвобождается особый химический нейромедиатор, который диффундирует в небольшом, заполненном жидкостью промежутке между нейронами и активирует специализированные нейромедиаторные рецепторы в дендрите следующего нейрона. Такое соединение нейронов называется синапсом. Процесс, благодаря которому электрические сигналы преобразуются в химические и затем вновь в электрические в принимающем нейроне, называется синаптической передачей.

---

[44] Знаю, знаю – звучит это просто безумно. Но все мы приносим жертвы во имя истины. И поскольку я понимаю, о чем вы думаете, хочу уточнить: эксперименты на клиторе не проводились.

[45] Пороговый тест на двухточечную дискриминацию уже много лет является стандартным неврологическим тестом, но селективность осязания в нем постоянно недооценивается. В большинстве лабораторий он заменен другим тестом, в котором к коже с постоянной силой прижимаются решетчатые листы с выпуклыми гранями. Расстояние между гранями систематически изменяется, и участника эксперимента просят определить, вертикальны эти грани или горизонтальны.

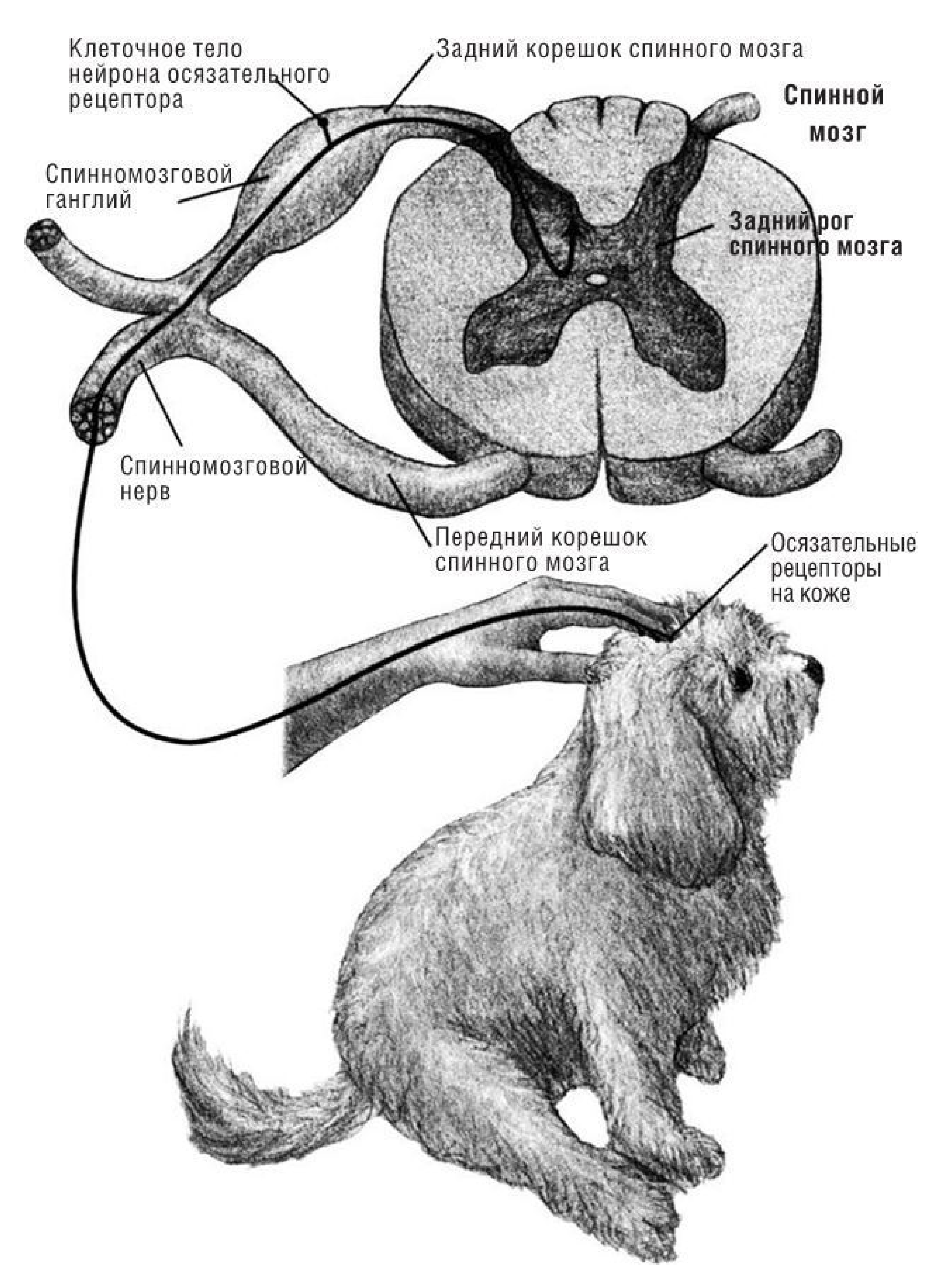


Рис. 2.6. Электрические сигналы от рецепторов на коже передаются в спинной мозг, а оттуда в головной мозг по аксонам нейронов, клеточные тела которых расположены в спинномозговых ганглиях.

© Джоан М. К. Тикко

Нейроны, которые передают тактильную информацию от кожи к спинному и головному мозгу, однако, не обладают типичным строением «дендрит – клеточное тело – аксон». Вместо всего этого у них есть один-единственный длинный аксон, проходящий от точки на коже, за

ощущения которой они отвечают, к спинному мозгу. Клеточное тело прикреплено к аксону коротким корешком, смещенным вбок. Клеточные тела сенсорных нейронов соединяются в структуру, именуемую спинномозговым ганглием и расположенную рядом со спинным мозгом (рис. 2.6). Спинномозговые ганглии располагаются парами, и каждая связана с одним из позвонков.[46]

Когда мы говорим об электрических сигналах, то представляем себе импульсы, исходящие от наших ноутбуков или плееров, которые движутся со скоростью чуть меньшей, чем скорость света, – около 1077 миллионов километров в час. Но передача электрических сигналов в нервной системе – процесс гораздо более медленный. Аксоны, получающие информацию от механорецепторов на вашей коже, передают импульсы со скоростью примерно 70 метров в секунду.

Это одни из самых быстродействующих аксонов в нервной системе, хотя и они более чем в четыре миллиона раз уступают по скорости сигналам в электронных устройствах. Иными словами, представьте себе великаншу, которая лежит головой в Балтиморе, а ноги находятся в воде близ южноафриканского Кейптауна. Если в полдень понедельника ее большого пальца коснется пучок водорослей, активировав механорецепторы кожи, она не почувствует этого до раннего вечера среды, когда сигнал дойдет до неокортекса головного мозга, а убрать ногу в ответ у нее не получится ранее утра субботы.[47] Оставим гигантов, поясним: электрическим сигналам, которые начинают свой путь в коже, на то, чтобы добраться до мозга требуется время, и тем больше, чем дальше от мозга находится соответствующая часть тела: например, от пальцев ног сигнал идет дольше, чем от лица.

В начале XX века в Европе и Америке пациенты, в основном женщины, стали жаловаться на потерю чувствительности в той или иной части тела – осталось только странное слабое покалывание. Есть ли неврологическое объяснение этим симптомам? Мы знаем, что нервы в спинном и головном мозге передают тактильные сигналы. Возможно, проблема состояла в том, что нечто мешало функционированию конкретных сенсорных нервов – какое-то сдавливание или, например, инфекция, – и именно поэтому возникало локализованное омертвение?

На рис. 2.7 человеческое тело изображено так, что на нем показаны зоны кожи, пронизанные парами спинномозговых ганглиев. Например, можно увидеть, что четвертый грудной спинномозговой ганглий охватывает кожу туловища на уровне сосков, а первый крестцовый ганглий, расположенный у нижней части позвоночника, тянется по наружной части голени, лодыжки и стопы. Каждая из зон кожи, которую пронизывает одна пара спинномозговых ганглиев, именуется дерматомом.

Если бы причиной онемения и покалывания была травма сенсорного нерва или спинномозгового ганглия, следовало бы предположить, что пациенты жаловались бы на ощущение в области, соответствующей дерматому или, возможно, двум соседним дерматомам. Но когда при исследовании кожи картографировали области утраты ощущений, все оказалось совсем иначе. Чаще всего зона онемения соответствовала вовсе не конфигурации дерматома, а форме различных видов нижнего белья: корсетам, подштанникам, панталонам, подвязкам, чулкам и т. д. Это заставило многих врачей того времени, включая Зигмунда Фрейда, заключить, что симптомы онемения были связаны не с повреждением сенсорных нервов: чувство онемения зон, ограниченных формой нижнего белья, возникало в результате психологических и социальных факторов. Сегодня зоны онемения в форме нижнего белья встречаются значительно реже. (Трудно себе представить зону онемения в форме стрингов.)

---

[46] В случае шеи и головы спинномозговой ганглий заменяется сходной структурой – тройничным ганглием. Научное название нейронов, имеющих эту форму, – «псевдоуниполярные нейроны».

[47] При этом предполагается, что механосенсорные аксоны нашей великанши передают сигналы с той же скоростью, что и у обычных людей.

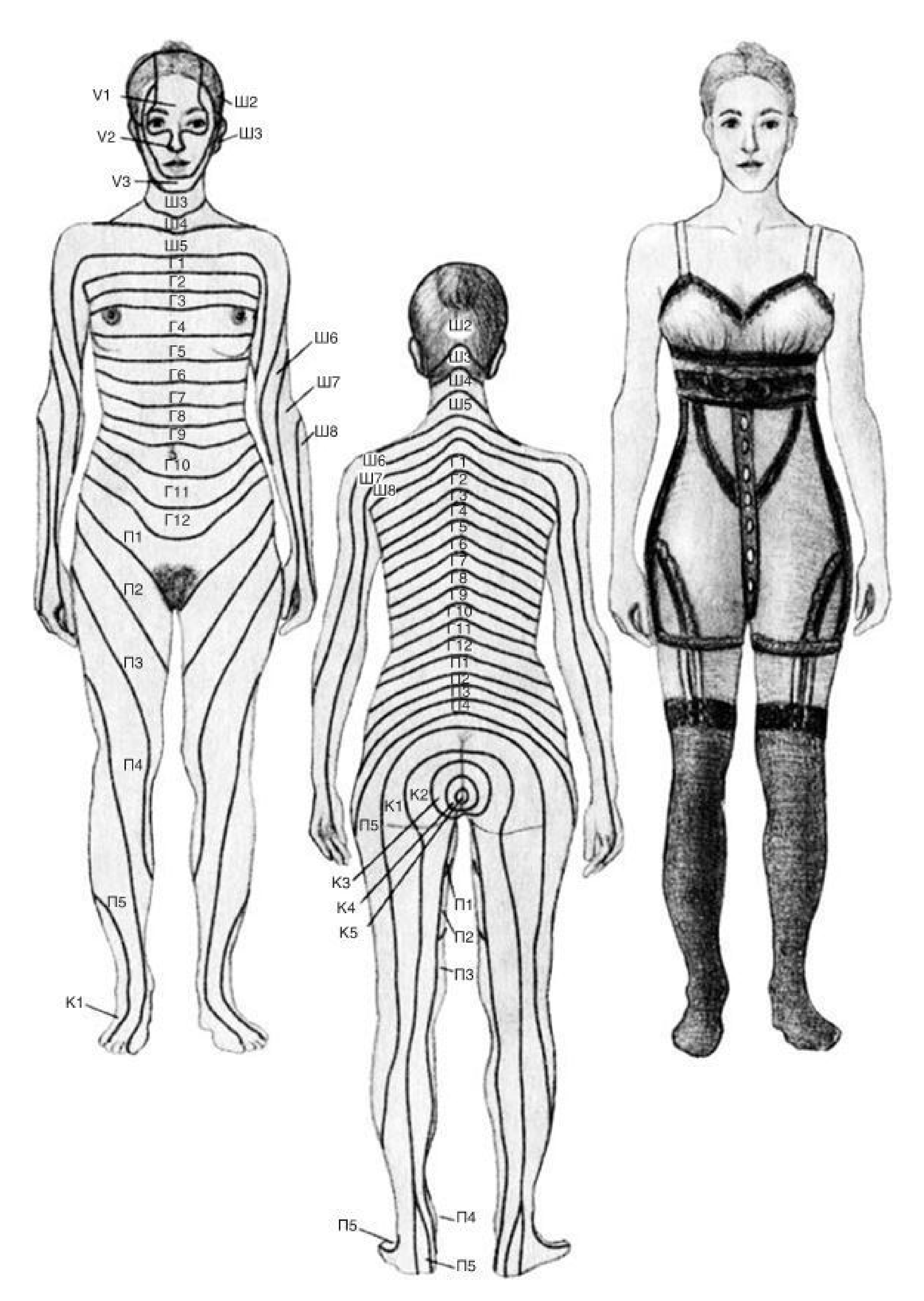


Рис. 2.7. Карта зон кожи, пронизанных волокнами различных спинномозговых нервов и тройничного нерва, отвечающего за некоторые части лица. Эта карта (левое и центральное изображения) показывает, что дерматомы не совпадают со сформированными нижним бельем областями онемения. Буквы К, П, Г, Ш соответствуют группам позвонков снизу вверх по позвоночнику: крестцовый, поясничный, грудной и шейный. Буква V соответствует трой-

ничному нерву, который начинается в стволовой части мозга. Это пятый черепной нерв, потому он обозначается римской цифрой V

Раз нейроны – это клетки, то нам представляется нечто микроскопическое, и в каком-то смысле это верно: клеточные тела сенсорных нейронов в спинномозговых ганглиях имеют диаметр от 0,01 до 0,05 миллиметра. (Крупнейшее из этих клеточных тел по диаметру примерно соответствует диаметру остевого волоса человека.) Однако длина, которую должны иметь определенные сенсорные нейроны, чтобы передавать осязательные сигналы, поражает. Представим себе аксон механосенсорного нейрона, расположенного в пятке. Он тянется от пятки вверх по ноге в область таза и по спинномозговому ганглию попадает в позвоночник в первом крестцовом нерве. Затем он продолжает тянуться вверх по позвоночнику, заканчиваясь и формируя синапсы в зоне ствола мозга, именуемой тонким ядром. В среднем у человека этот нейрон имеет длину около полутора метров. (Да, а у жирафа еще длиннее.) Эти нейроны – самые длинные клетки в организме.

Впрочем, тонкое ядро не то место, где заканчиваются мелкие осязательные сигналы, а лишь промежуточная остановка. Аксоны тонкого ядра тянутся далее, оказываются на противоположной стороне мозга и передают электрические сигналы на еще одну «перерабатывающую станцию» в зоне, которая называется таламусом. Из таламуса аксоны, в свою очередь, направляются в кору головного мозга – большую, сходную с корой дерева, оболочку, которая формирует поверхность головного мозга.[48] Зона, где заканчиваются аксоны, идущие из таламуса, называется первичной соматосенсорной корой («первичная» – поскольку это первая из нескольких зон коры, которая воспринимает осязательную информацию.) Эта зона расположена сразу за роландовой бороздой – главной расщелиной, делящей мозг на переднюю и заднюю части (рис. 2.8, в центре слева). Поскольку аксоны, передающие осязательную информацию, пересекают границу полушарий мозга, прежде чем попасть в кору, то кора правого полушария реагирует на осязательную информацию из левой части организма и наоборот.[49]

В конце 1930-х годов Уайлдер Пенфилд, Герберт Джаспер и их коллеги из Монреальского неврологического института начали использовать электроды для локальной стимуляции головного мозга больных эпилепсией во время хирургических операций. Таким образом, чтобы устранить проблему, не причиняя лишнего вреда соседним здоровым тканям, они стремились определить, какая именно зона мозга ответственна за припадки пациентов, то есть служит так называемым фокусом эпилепсии. Не существует точки мозга, которую можно считать единым для всех центром эпилепсии, так что определение фокуса приходилось проводить индивидуально для каждого пациента. В ходе этой примечательной процедуры пациенту брили голову, фиксировали ее, после чего делали на коже головы надрез и зажимали края. Затем Пен-

[48] Вам, знатокам анатомии: у нейронов, передающих информацию от механорецепторов, есть аксоны, которые восходят в область спинного мозга, именуемую пластиной IV заднего рога спинного мозга. Механорецепторные аксоны из нижней части тела (ниже седьмого грудного позвонка) контактируют с нейронами тонкого ядра мозгового ствола, а аксоны верхней части мозга образуют синапсы на нейронах в близлежащем клиновидном ядре мозга. Нейроны тонкого и клиновидного ядер направляют аксоны в зону таламуса, называемую нижней заднебоковой областью, по пересекающему среднюю линию пути под названием медиальный лемниск. Эти клетки таламуса затем соединяются с первичной соматосенсорной корой. В следующих главах мы поговорим о кожных рецепторах эротических прикосновений, боли, зуда и температуры, которые обладают собственными путями связи со спинным и головным мозгом. Отметим также терминологический момент: набор аксонов именуется нервом, когда проходит через тело (так называемая периферия), но при поступлении в спинной или головной мозг он называется нервным путем.

[49] Пересечение волокон в сенсорной и моторной системах широко распространено в нервной системе. В некоторых случаях, например в системе зрения, это имеет смысл: правая область зрения активирует левую часть сетчатки обоих глаз. Поэтому, чтобы свести воедино визуальную информацию от левого и правого глаза в визуальной коре, волокна, идущие от сетчатки, должны пересекаться в мозге. В осязательной системе причина пересечения не так ясна и часто служит предметом дискуссий специалистов-неврологов за кружкой пива.

филд брал миниатюрную пилу и отпиливал круглый кусок кости диаметром примерно с теннисный мяч – его снимали и откладывали в сторону, чтобы затем вернуть на место. Поскольку ткани мозга не содержат механорецепторов и не чувствуют боли, процедуру проводили под местным наркозом, который обеспечивал онемение кожи черепа, кости и мозговых оболочек, при этом пациент оставался в полном сознании. Пенфилд применял также портативный стимулирующий электрод, похожий по размеру и форме на электрическую зубную щетку с металлической иглой на рабочем конце. По проводу, прикрепленному к «рукоятке» подавались слабые электрические разряды, позволяющие игле активировать нейроны.

Пенфилд методично передвигал электрод по вскрытой поверхности мозга, постоянно спрашивая пациента: «А сейчас что вы чувствуете?» Пациент отвечал, например: «Покалывает в левом запястье», «Пахнет сгоревшим тостом», «Слышу песенку, которую в последний раз слышал в детстве». Стимулирование зоны прямо перед роландовой бороздой вызывало непроизвольные простые движения: судорожно дергалась нога, сжимался кулак, высовывался язык. Стимуляция первичной соматосенсорной коры вызывала зуд или покалывание в различных местах тела. Пациенты признавались, что эти ощущения казались неестественными и их нельзя было перепутать с настоящим чувственным опытом. Скорее это были грубые симуляции чувственного опыта, которым недоставало богатства ощущений и контекста. Ассистент Пенфилда записывал каждое движение и все слова пациентов в блокнот с пронумерованными строчками, а после стимуляции вставлял в соответствующую точку мозга крохотную булавку с номером строчки. Через некоторое время поверхность мозга выглядела как поле для мини-гольфа, на котором вместо ветряных мельниц и склонов препятствиями служили бороздки и гребни.[50]

Когда флажки сфотографировали и записали реакции на стимуляцию всей первичной соматосенсорной коры, обнаружилась впечатляющая система: оказалось, что в этой коре содержится карта всей поверхности тела. Осязательные сигналы, которые доходят от кожи до мозгового ствола и затем передаются далее, в таламус и кору, вовсе не перемешаны как попало. Аксоны, иннервирующие расположенные рядом участки кожи, продолжают находиться недалеко друг от друга, и эти их соседские отношения, за вычетом некоторых знаменательных исключений, сохраняются на всем пути до коры головного мозга, где формируется осязательная карта.[51]

---

[50] Во времена Пенфилда не существовало эффективных лекарств от эпилепсии, а хирургические операции производились только тогда, когда припадки угрожали жизни больного. Описание картографирования мозга самим Пенфилдом достаточно полезно и сейчас.

[51] Недавно осязательная карта первичной соматосенсорной коры была исследована с помощью специальных томографов, способных выявлять локальную деятельность мозга в ответ на прикосновения. Ее удалось создать и для лабораторных животных посредством записи электрической активности отдельных нейронов в соматосенсорной коре и последующего определения соответствующего места на поверхности кожи, прикосновение к которому вызывало подобную активность. Оказывается, что карты присущи всем сенсорным системам мозга и, как и осязательная карта, нередко искажены. Первичная визуальная кора содержит карту видимого мира (перевернутого и вывернутого наизнанку), в которой значительно увеличен центр сетчатки, плотно заполненной светоулавливающими клетками. Слуховая кора имеет карту тонов. Карты химических чувств, например запахов, понять сложнее, поскольку зона запахов проявляет себя не так отчетливо, как зона кожи или сетчатки.

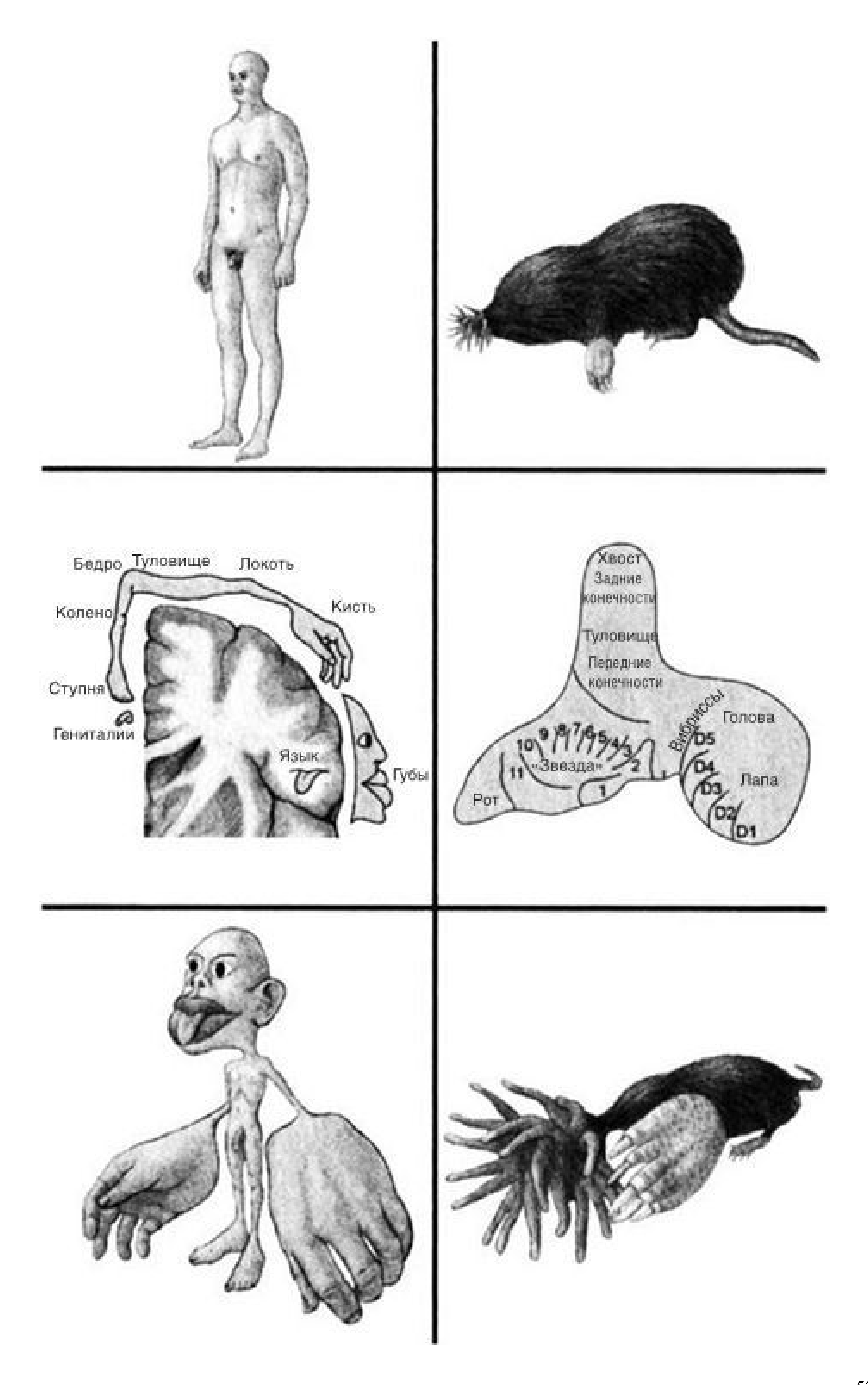

Бедро
Туловище
Локоть
Колено
Кисть
Ступня
Гениталии
Язык
Губы
Хвост
Задние конечности
Туловище
Передние конечности
Вибриссы
Голова
10 9 8 7 6 5 4 3
11
«Звезда»
2
1
D5
D4
D3
D2
D1
Лапа
Рот

Рис. 2.8. Осязательные карты в первичной соматосенсорной коре мозга человека и крота-звездорыла. Слева вверху: взрослый человек. Слева в центре: осязательная карта в первичной соматосенсорной коре человека. Слева снизу: изображение человека, на котором размер каждой части тела показан пропорционально его проекции на осязательной карте. Обратите внимание на кисти рук, губы и язык. Справа вверху: взрослый крот-звездорыл. Справа в центре: осязательная карта в первичной соматосенсорной коре крота-звездорыла. Справа внизу: изображение крота-звездорыла, на котором части тела показаны пропорционально их проекции на осязательной карте. Обратите внимание на увеличение «звезды» и передних лап. Иллюстрации Джоан Тикко. Рисунки слева вверху и в центре перепечатаны из: Linden D. J. The Accidental Mind: How Brain Evolution has. Given us Love, Memory, Dreams and God. (Cambridge, MA: Harvard/Belknap Press, 2007), 85, публикуется с разрешения издателя

Образ организма на появившейся в коре осязательной карте выглядит несколько странно (рис. 2.8, в центре слева): его составные части оказываются разбитыми и собранными вновь, так что лоб соседствует с большим пальцем, а гениталии, например, как мужские, так и женские, – с пальцами ног. (К карте гениталий мы вернемся в главе 4, где и поговорим о ней более подробно.) Кроме того, отдельные части человеческого организма на этой карте значительно увеличены: так, кисти рук, губы и язык просто огромны. Ступни тоже увеличены, хоть и ненамного, в то время как ноги, спина, торс и гениталии сравнительно невелики. Конечно, конфигурация понятна: области, которые увеличились на карте в коре головного мозга, обладают высокой плотностью механорецепторов в коже, особенно клеток Меркеля, которые отвечают за тонкие осязательные различия.

Свойственно ли такое увеличение определенных зон кожи на осязательной карте только приматам с их сверхчувствительными пальцами и губами? Чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим животных, которые способны улавливать тонкие осязательные различия при помощи других инструментов. Один из наиболее поразительных примеров – полуводное североамериканское млекопитающее крот-звездорыл (рис. 2.8, сверху справа). Это небольшое, почти полностью слепое создание, по размеру примерно вдвое больше мыши, мощными передними лапами роет подземные ходы у ручьев и прудов, где может и жить, и плавать. Кроты-звездорылы обычно вызывают самые крайние эмоции: некоторые люди (как я, например) считают их милыми, другие же испытывают к ним омерзение.[52] От носа животного расходятся одиннадцать пар мясистых отростков, называемых лучами. В каждом луче находятся специализированные кластеры дисков Меркеля, а также пачиниевы тельца и свободные нервные окончания. Это исключительно чувствительные органы осязания – возможно, наиболее чувствительные в мире млекопитающих. Кроты-звездорылы поддерживают свои лучи в постоянном движении, что позволяет им изучать 10–15 точек в секунду. Когда они вступают в контакт с добычей – червем, улиткой, мелкой рыбиной, – то немедленно ее пожирают; время от осязательного контакта до процесса пищеварения занимает 120 миллисекунд.

Неудивительно, что осязательная карта в первичной соматосенсорной коре крота-звездорыла показывает огромное увеличение лучей за счет носа, хвоста и задних лап (рис. 2.8, в центре и внизу справа). Этот принцип действует для большинства видов: зоны кожи с высокой плотностью механосенсорных рецепторов увеличены в первичной осязательной карте в мозге.[53]

---

[52] Поклонники мастера ужасов Говарда Лавкрафта часто сравнивают крота-звездорыла с Ктулху – инопланетным существом – творением Лавкрафта, появившимся в рассказе 1928 года: «монстром, очертания которого смутно напоминали антропоидные, однако у него была голова осьминога, лицо представляло собой массу щупалец, тело было чешуйчатым, гигантские когти на передних и задних лапах, а сзади – длинные, узкие крылья». Ну ладно, крыльев у крота нет, но тем не менее…

[53] Мировой лидер в изучении крота-звездорыла – Кеннет Катанья из Университета Вандербильта. Ускорив видеозапись, он показал, что при поисках пищи звездорылы шевелят своими лучами хаотичным образом. Но как только луч обнаруживает

Если копнуть немного глубже, станет понятно, что на самом деле лучше говорить о наборе осязательных карт, расположенных в близлежащих зонах коры. Первичную соматосенсорную кору у приматов можно подразделить на четыре более мелкие области, в каждой из которых находится своя странным образом искаженная карта. Помимо непосредственного получения информации из таламуса, эти четыре области сильно связаны друг с другом. Они также посылают информацию дальше – в ряд сорасположенных областей, которые вместе именуются высшей соматосенсорной корой, не находящейся в прямом контакте с таламусом.

На данный момент в соматосенсорной коре головного мозга приматов обнаружено десять различных карт организма (четыре в первичной коре, шесть в высшей), возможно наличие и других карт.

Так в какой же из этих многочисленных переплетенных областей мозга вершится чудо? Как наше богатое, детальное и глубокое чувство осязания возникает из этой горы мыслящей плоти, пронизанной запутанной системой проводов? Мы улавливаем воздействие на определенный участок поверхности нашей кожи, поскольку активируется конкретная группа нейронов в коре. Это может происходить естественным образом – при стимуляции кожи – или при непосредственной стимуляции мозга, которую осуществлял Пенфилд. Но это лишь первая часть объяснения, и довольно небольшая. На самом же деле нам еще многое предстоит узнать о том, как мозг создает наши тактильные ощущения. Я не буду здесь рассказывать о всех сложных связях внутри и между различными клетками, обрабатывающими осязательные сигналы, и зонами мозга, но несколько общих принципов упомянуть стоит.

Информация сходится от кожи к мозгу. Каждый нейрон в первичной соматосенсорной коре в конечном счете получает информацию от множества нервных волокон, пронизывающих сопредельные области кожи. Например, одно нервное волокно, проходящее по руке и передающее информацию от дисков Меркеля, расположенных на кончиках пальцев, в спинной мозг, будет реагировать только на стимулирование очень маленькой точки на кончике одного пальца – диаметром примерно 1 миллиметр.[54] Но из-за схождения сигналов нейрон, отвечающий за клетки Меркеля на карте пальца в первичной соматосенсорной коре, будет, скорее всего, реагировать на стимулирование гораздо более широкой области – диаметром около 5 миллиметров. Важно отметить, что это схождение сигналов не носит случайного характера, так что его нельзя считать простым ухудшением осязательной информации. Напротив, благодаря подключению определенной группы Меркелевых нервных волокон к одному и тому же нейрону коры головного мозга можно создать новый нейрон коры мозга, который будет отвечать за конкретную осязательную функцию – например, за восприятие тонкой палочки, положенной определенным образом на подушечку пальца. Схождение сигналов выглядит еще более отчетливо для тех зон, плотность нервных волокон в которых невелика: один нейрон в части осязательной карты, отвечающей за спину, активируется стимулом на участке площадью около 50 квадратных сантиметров – размером с игральную карту.

В первичной соматосенсорной коре схождение сигналов дает минимальное слияние информации: сигналы четырех механорецепторов в основном (но не полностью) не совпадают.

потенциальный источник еды, звезда поворачивается так, что к объекту приближается специализированный сверхчувствительный луч номер 11. Обычно, чтобы понять, действительно ли этот объект можно употребить в пищу, требуется одно или несколько касаний этим лучом. Когда профессор Катанья тщательно изучил осязательную карту коры звездорыла, он обнаружил: мало того, что звезда занимает очень большое место на карте в соматосенсорной коре, но и луч 11 превосходит на ней по размерам все остальные лучи.

[54] Забавная подробность: информацию от ряда дисков Меркеля на подушечке пальца (2–3 мм в диаметре), переносит только один сенсорный аксон. Но если сделать запись электрической активности этого аксона, при уколе пальца чем-то острым, окажется, что аксон реагирует на стимуляцию меньшей области – диаметром около 1 мм. Это так называемое рецептивное поле аксона. Расхождения между рецептивным полем и анатомическим распределением окончаний определенно сулит нам что-то интересное. Возможно, диски Меркеля на краю этой зоны посылают только слабый сигнал, а возможно, их сигналы активно блокируются, когда ветви аксона сходятся на пути к спинному мозгу.

Некоторые группы нейронов, организованные в столбцы, реагируют в основном на клетки Меркеля, в то время как другие – на тельца Мейснера или Пачини. Так что, например, один столбец кортикальной ткани диаметром около 0,6 миллиметра может получать сигналы от телец Мейснера на подушечке большого пальца левой ноги, а другой – сигналы от клеток Меркеля на правой стороне нижней губы.[55]

Серийный процессинг сигналов в мозгу выдает все более сложную осязательную информацию. Если рассмотреть структурную схему зон коры головного мозга, которые обрабатывают осязательную информацию, на первый взгляд покажется, что здесь царит путаница, как в тарелке спагетти (рис. 2.9), но при более детальном изучении начинают просматриваться определенные темы. Первичная соматосенсорная кора состоит из четырех областей, в каждую из которых аксоны идут непосредственно из таламуса, хотя львиная доля приходится на область 3б. Зона 2 получает от таламуса лишь часть информации – в то же время она активируется всеми остальными тремя первичными областями новой коры: 3а, 3б и 1. Если мы сделаем записи работы нейронов в области 3б при стимуляции кожи, выяснится, что наиболее эффективная стимуляция для их активации – это самое простое прикосновение, например, если мы положим на кончики пальцев тонкую палочку под определенным углом.

[55] Открытие столбцовой организации новой коры принадлежит Вернону Маунткаслу и его коллегам по медицинской школе Университета Джонса Хопкинса.

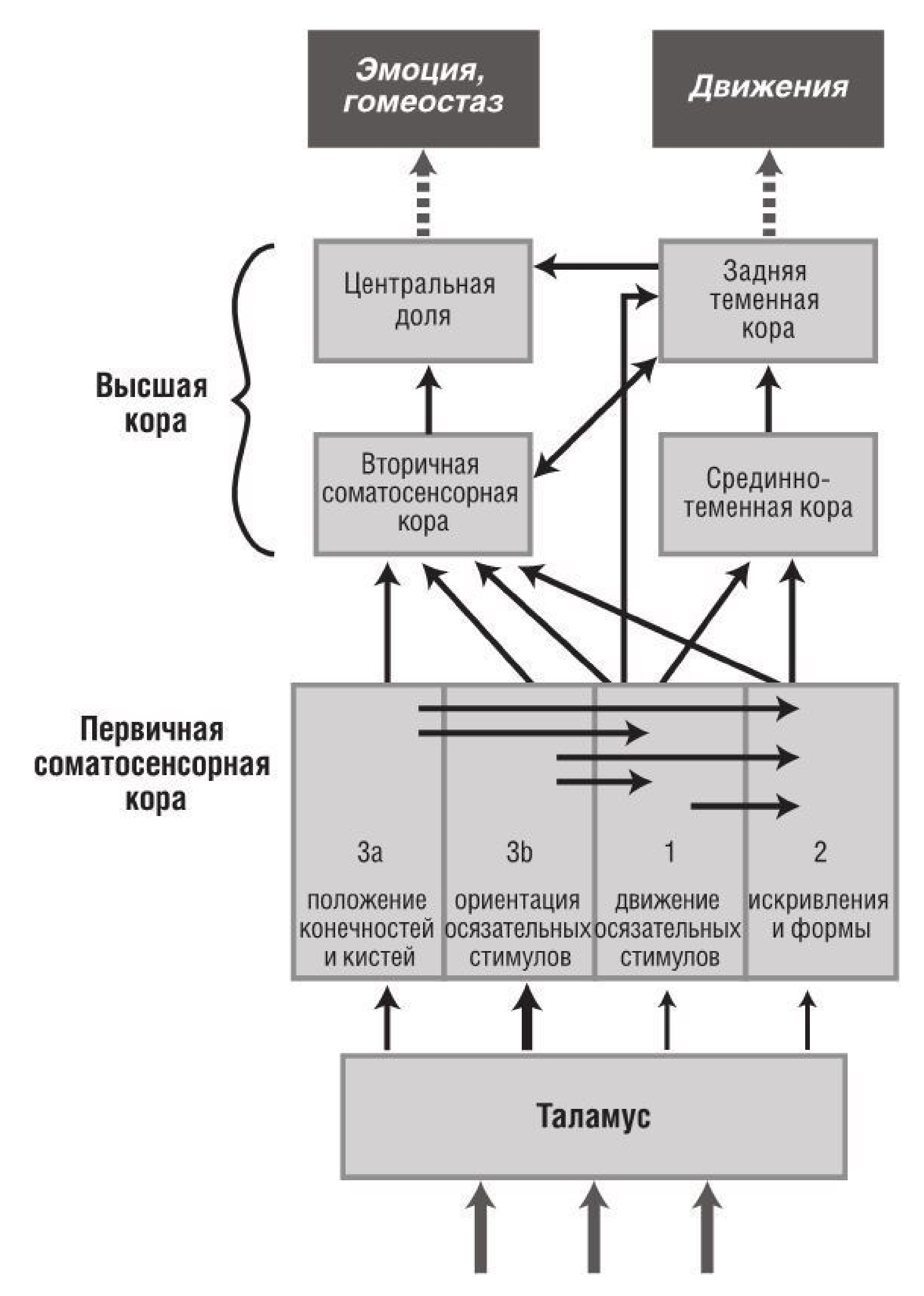


Рис. 2.9. Упрощенная структурная схема областей обработки осязательной информации в мозге. Первичная соматосенсорная кора получает информацию непосредственно от таламуса, занимается в основном серийной обработкой для извлечения различных осязательных функций и передает информацию дальше к высшим типам соматосенсорной коры. Вторичная соматосенсорная кора необходима для распознавания объектов и передает информацию в области мозга, отвечающие за эмоции и гомеостаз (центральная доля) и за раннее

планирование движений (задняя теменная кора). Адаптировано с разрешения профессора Стивена Сяо (медицинская школа Университета Джона Хопкинса)

Но те же простые стимулы лишь слабо активируют нейроны в зоне 2, которая существенно реагирует лишь на более сложные стимулы – двух- или трехмерные формы (например, сжатый в ладони бейсбольный мяч). Если у лабораторных мышей повреждается зона 3б, это приводит к примечательным результатам. Восприятие прикосновений нарушается до такой степени, что животные словно бы не улавливают не только характер прикосновения, но и сам его факт. Напротив, эффект от повреждения зоны 2 менее глубок: текстуру поверхности животные по-прежнему воспринимают, а вот распознавать по ней предметы уже не могут.

Будет понятнее, если мы посмотрим на связи зон мозга, ответственных за обработку осязательных сигналов. Зона 3б принимает базовую, минимально обработанную осязательную информацию. В результате нейроны в этой области реагируют на простые стимулы, образованные непосредственным схождением аксонов, которые передают механосенсорные сигналы. Поскольку зона 3б являет собой «бутылочное горлышко» для осязательной информации, ее повреждение оказывает разрушительный эффект и лишает ключевых данных большинство остальных обрабатывающих участков мозга.

Зона 2 имеет то преимущество, что получает не только сигналы прямо из таламуса, но и информацию из других первичных осязательных зон, которая уже прошла обработку в этих зонах. Вследствие этого зона 2 способна извлекать более сложную информацию из осязательных стимулов – например, о движении предмета, его кривизне и трехмерной форме. При повреждении зоны 2 осязательные ощущения меняются не так кардинально, поскольку это лишь один из нескольких каналов, по которым информация поступает в следующие зоны.

Серийная обработка продолжается и дальше, все усложняясь по мере того, как осязательная информация поступает во вторичную соматосенсорную кору. Нейроны в этой зоне собирают сигналы с более крупного участка (например, со всей ладони или стопы), включая области по обеим сторонам тела. Вторичная соматосенсорная кора играет важную роль в определении предмета, особенно при его ощупывании. Повреждения этой зоны приводят к малозаметным искажениям – например, к потере способности распознавания сложного объекта сначала одной рукой, а затем другой.[56]

Серийная сложность, судя по всему, является общей для всех участков мозга, отвечающих за восприятие. Например, визуальная система начинает распознавание сложных визуальных объектов – к примеру, лиц – с их простейших элементов, таких как пятнышки и черточки.

Параллельная обработка разбивает сложную осязательную информацию на разные потоки. В конечном счете отображение в мозгу тактильного мира служит достижению определенной цели – принятию решения, формированию воспоминания или началу действия. Полностью обработанная информация, поступая из высшей соматосенсорной коры, разделяется на два разных потока. Один поток протекает через зону мозга, именуемую центральной долей, и влияет на эмоциональные отклики, гомеостаз и некоторые другие функции. Сейчас центральная доля считается также ответственной за самовосприятие. Второй поток проходит через так называемую заднюю теменную кору и по большей части отвечает за соединение данных осязания с информацией от других органов чувств, что помогает планировать, выполнять и подстраивать движения, включая манипулирование предметами.[57]

---

[56] Организация вторичной соматосенсорной коры пока недостаточно изучена, но похоже, что, как и первичная соматосенсорная кора, она состоит из функционально различающихся зон, некоторые из которых получают только тактильные (кожные) сигналы, а некоторые – смесь тактильных сигналов и информации о конфигурации кисти/конечности/тела (проприоцептивных сигналов).

[57] Это было четко показано в серии экспериментов Эстер Гарднер и ее коллег по медицинской школе Нью-Йоркского университета: они записывали активность задней теменной коры мозга обезьян, обученных тянуться за объектами и хватать

Если первичная соматосенсорная кора в основном реагирует на осязательную информацию правильно и стереотипно, то высшие центры обработки осязательной информации подвергаются большему воздействию таких когнитивных факторов, как внимание, контекст, мотивация и ожидания. Мы вернемся к этим областям в следующих главах, когда будем говорить о высших когнитивных аспектах осязания.

Я уже рассказывал о том, что искажения на осязательных картах в мозге человека, на которых пальцы, губы и ступни представлены гипертрофированно, отражают плотность осязательных рецепторов в определенных областях кожи. Но есть и еще один важный фактор: осязательные карты определяются не раз и навсегда на всю взрослую жизнь – они могут меняться под влиянием сенсорного опыта отдельного человека. В качестве примера рассмотрим скрипачей, альтистов и виолончелистов – профессионалов или серьезных любителей, которые играют по меньшей мере по двенадцать часов в неделю. При игре на этих инструментах пальцы левой руки постоянно дергают струны для достижения эффекта вибрато, что требует как развитой тактильной стимуляции, так и исключительной ловкости пальцев. Правая рука, которая держит смычок, требует гораздо меньшей работы отдельных пальцев и тактильного отклика. Когда музыкантов, играющих на этих инструментах, обследовали с помощью томографа, чтобы изучить отображение их рук на карте в первичной соматосенсорной коре, оказалось, что на этой карте пальцы левой руки занимают гораздо больше места, чем пальцы правой руки (примерно в 1,8 раза). (Пальцы правой и левой руки на картах контрольной группы, состоящей из людей того же возраста, не занимающихся музыкой, имели примерно одинаковые размеры.) Три исследования, проведенные в разных лабораториях по несколько отличающимся методикам дали почти идентичные результаты, так что явление можно считать доказанным.[58] А вот его интерпретация не столь однозначна. Самое простое объяснение: за годы работы со скрипкой или виолончелью, зона, которую занимают на карте в мозге пальцы левой руки увеличилась. Другое предположение заключается в том, что люди, родившиеся с увеличенным представлением пальцев левой руки на осязательной карте, чаще испытывают склонность к игре на струнных инструментах и преуспевают в ней. Точно так же, как дети обычно предпочитают виды спорта, к которым имеют естественную предрасположенность, будущие музыканты, возможно, выбирают инструмент отчасти и на основании какого-то ощущения врожденных сенсорно-моторных способностей.

Чтобы проверить, какое из этих объяснений верно, нужно получить осязательные карты пальцев левой руки до и после получения музыкального образования. Конечно, чтобы стать хорошим скрипачом, необходимы долгие годы, так что произвести подобное исследование представляется сложной задачей. Существуют ли тактильные эксперименты, демонстрирующие более быстрые изменения на осязательной карте?

Если отойти от мира людей, то мы найдем яркий пример – влияние выкармливания потомства на впервые рожающих самок крыс. В помете серой лабораторной крысы бывает от восьми до двенадцати крысят. В первые несколько дней после родов крыса тратит около 80 % времени на кормление потомства двенадцатью сосками, расположенными в два ряда на животе. Измерения, сделанные через 12–19 дней после родов, показали, что брюшная зона на первичной осязательной карте у кормящих самок увеличилась в 1,6 раза по сравнению с крысами из

их. Оказалось, что нейроны в этой области активизировались, когда обезьяна только тянулась за объектом – задолго до того, как она к нему прикасалась. Более того, работа нейронов во время движения обезьяны к объекту, похоже, отражала предположения о вероятной эффективности этого движения. Нейронные отклики после контакта с объектом могут либо подтвердить, либо опровергнуть эти предсказания, тем самым давая обезьяне информацию, благодаря которой она получит возможность оптимизировать свои движения на основании опыта, то есть научиться более эффективной моторике.

[58] Каковы функциональные последствия увеличения левой руки на осязательной карте? Последние исследования показывают, что моторика ни левой, ни правой руки у музыкантов не улучшилась по сравнению с участниками контрольной группы. Тестов на тактильную дискриминацию, правда, не проводилось.

контрольной группы. (Контрольную группу составили либо еще не рожавшие самки крыс того же возраста, либо не выкармливавшие потомство впервые родившие крысы, помет которых сразу же отняли.) Через 15–30 дней после того, как крысят отобрали от матерей, брюшная зона на осязательной карте у этих самок уменьшилась до тех размеров, которые имела во время беременности. Эти результаты показывают, что увеличение сенсорного опыта действительно ведет к динамическим изменениям на осязательной карте и что эти изменения, по крайней мере в определенных ситуациях, могут происходить в течение нескольких дней, а не лет.[59]

Как пел Том Уэйтс, *The large print giveth and the small print taketh away* («Крупный шрифт дает, а мелкий – отбирает»). Пластичность осязательной карты, связанная с личным опытом, работает в обоих направлениях. Увеличение тактильной стимуляции приводит к расширению соответствующего участка карты, а ее уменьшение – к сжатию.

Когда взрослым крысам наложили гипсовую повязку для иммобилизации передней лапы, оказалось, что зона, соответствующая этой лапе на осязательной карте, всего за неделю уменьшилась на 50 %, а отображение свободной передней лапы вообще никак не изменилось. Через неделю авторы исследования сняли гипс и снова изучили осязательную карту: в тот момент отображение неподвижной ранее передней лапы все еще было сокращено. Вполне вероятно, что со временем эта зона вернулась бы к своему нормальному состоянию, но соответствующий эксперимент почему-то так и не был поставлен.

Все мы – невольные участники эксперимента по лишению осязания: он проходит очень медленно на протяжении всей нашей взрослой жизни. С двадцати до восьмидесяти лет плотность дисков Меркеля и телец Мейснера постепенно уменьшается почти в три раза (рис. 2.10), примерно так же сокращается и способность к тонкому пространственному восприятию. Значит ли это, что утрата былых осязательных навыков в пожилом возрасте объясняется исключительно потерей неглубоких механорецепторов кожи? Видимо, нет.

Нужно отметить, что кожа утрачивает способность пространственного восприятия неравномерно: чувствительность кончиков пальцев снижается в 2,5 раза, а подошв и пальцев ног – в четыре. Объяснение такой разницы состоит в том, что процесс старения сопровождается сокращением скорости распространения импульса в нервных волокнах, которые передают в мозг сигналы от клеток Меркеля и Мейснера, с 240 до 177 километров в час. Это замедление нервных импульсов в большей степени затрудняет передачу осязательной информации из отдаленных от мозга частей тела (пальцы ног), чем из тех, что к нему поближе (руки, губы). Снижение осязания подошвами и пальцами ног вносит серьезный вклад в ухудшение равновесия при стоянии и ходьбе у пожилых людей, что часто заканчивается катастрофическими падениями.

---

[59] Пытливые умы желают знать: характерна ли такая пластичность карты и для кормящих грудью?

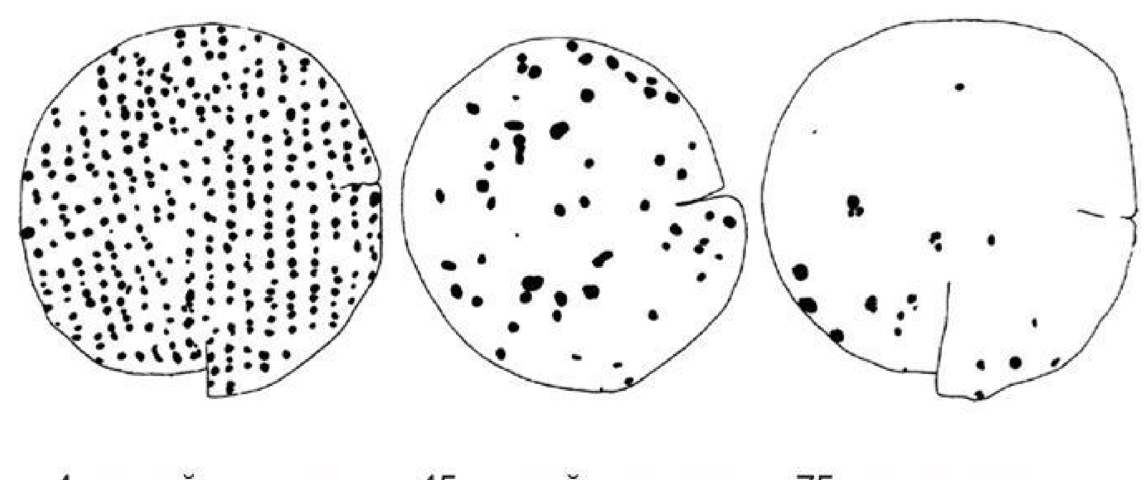


Рис. 2.10. Плотность телец Мейснера на гладкой коже подушечки большого пальца с возрастом сокращается. Эти изображения получены при помощи трехмиллиметровой биопсии. В данном случае плотность сократилась с 47 единиц на квадратный миллиметр до 7 и затем до 3. Печатается по: Bolton C. F., Winkelmann R. K., Dyck P. J. A quantitative study of Meissner's corpuscles in man // Neurology 16. 1966. 1–9, с разрешения компании Wolters Kluwer Health

Конечно, мозг не ждет спокойно, пока мы постареем. Пластичность мозга с возрастом немного ухудшается, но до конца не исчезает. Жизненный опыт постоянно совершенствует наш мозг. Пока до конца неясно, как первичная и высшая соматосенсорная кора меняются и адаптируются к постепенному снижению плотности механорецепторов. И не следует считать, что пластические изменения, сопутствующие старению, непременно благотворны. Пластичность коры мозга как реакция на меняющуюся осязательную информацию может еще больше усугубить проблему, приведя к неправильной сборке информационного потока и дальнейшему ухудшению осязательного восприятия.

О, это нежное женское прикосновение – такое тонкое, такое богатое нюансами, – насколько оно лучше смачного шлепка мужчины! Не потому ли, что кончики женских пальцев более чувствительны к мелким подробностям осязательных форм? Результаты исследований двух независимых лабораторий изначально позволяли считать, что так оно и есть. Когда взрослых людей просили оценить выемчатую поверхность, плотно прижав к ней кончик пальца, женщины показывали значительно более высокие результаты, чем мужчины: в среднем они способны различать бороздки, отстоящие одна от другой менее чем на 0,2 мм.[60] Возможно, дело в том, что кожа на кончиках пальцев у женщин мягче и легче растягивается? Нет – женская кожа деформировалась неровной поверхностью в той же степени, что и мужская. Или все объясняется половым диморфизмом в схемах соматосенсорной коры мозга либо способностью больше концентрироваться на задаче? Все может быть, но доказательств, которые подкрепляют или опровергают эти теории, пока нет.

Дэниел Голдрейх и его коллеги из Университета Макмастера в канадской провинции Онтарио предложили гипотезу попроще: возможно, женщины в среднем точнее осязают, потому что пальцы у них тоньше. Если одно и то же количество дисков Меркеля – сенсоров, которые отвечают за тончайшие разграничивающие прикосновения, – распределяется равномерно по толстым и тонким пальцам, то у тонких пальцев плотность дисков Меркеля ока-

[60] Вывод о том, что женщины лучше справляются с задачами на осязательную зоркость, стал побочным результатом основной темы этих исследований – эффектов слепоты. Влияние слепоты на осязание мы затронем в следующих главах.

зывается больше – отсюда и бóльшая точность при осязании: представьте себе, что у вас в мобильном телефоне фотокамера на 10 мегапикселей, а не на пять. Чтобы проверить это предположение, ученые набрали сотню студентов – пятьдесят мужчин и пятьдесят женщин – и дали им задание на восприятие неровной поверхности, чтобы измерить остроту осязания. Кроме того, они тщательно измерили площадь подушечки указательного пальца каждого участника эксперимента. Предыдущие результаты подтвердились: в среднем женщины превзошли мужчин примерно на 0, 2 мм. Когда была составлена диаграмма, сопоставляющая остроту осязания и площадь кончика пальца, выяснилось, что эта площадь четко соотносилась со способностью к тонкому осязательному разграничению как у женщин, так и у мужчин. Или же, иными словами, мужчина и женщина с кончиками пальцев одинакового размера обладают одинаковой остротой осязания (рис. 2.11).

Нет способов непосредственно измерить плотность дисков Меркеля в кончиках пальца без болезненной процедуры взятия биопсии. Но поскольку известно, что диски Меркеля сгруппированы у основания потовых пор в гладкой коже, для косвенного измерения их плотности использовали измерение плотности потовых пор, которое можно провести, обмакнув кончик пальца в смываемую краску и прижав его к обычному оптическому сканеру. И действительно, плотность потовых пор у менее крупных пальцев оказалась выше. Голдрейх и коллеги заключили, что толщина пальца служит индикатором остроты осязания независимо от пола и что данное различие обусловлено повышенной концентрацией дисков Меркеля в тонких пальцах.[61] Это простое и элегантное объяснение на самом деле ставит новые вопросы: как насчет механорецепторов на других частях тела, тоже различающиеся по размеру? Постоянно ли количество механорецепторов на ноге, на груди, на пенисе?[62]

---

[61] Конечно, есть некоторые ограничения. Во-первых, предположение о том, что плотность расположения потовых желез примерно соответствует плотности расположения дисков Меркеля, нуждается в доказательствах. Во-вторых, хотя, с точки зрения статистики, размером кончика пальца можно объяснить бóльшую часть разброса осязательной зоркости, это не отменяет возможность наличия половых различий в осязательных структурах мозга, которые также вносят свой вклад в разницу в осязательной зоркости. Голдрейх и коллеги решили узнать, не отличаются ли дети, чьи пальчики еще меньше женских, еще большей осязательной зоркостью. Ответ оказался довольно интересным. В среднем потовые железы детей – а следовательно, как мы предполагаем, и диски Меркеля – действительно расположены более плотно. И дети с более крупными пальцами демонстрируют более низкую осязательную зоркость. Но с ростом пальцев осязательная зоркость у детей не уменьшается. Можно предположить, что, хотя рост пальцев у детей снижает плотность расположения дисков Меркеля, это компенсируется одновременным повышением способности мозга извлекать информацию из этих рецепторов.

[62] Фиксированно ли количество механорецепторов на женской груди? По своему ограниченному эротическому опыту я могу сказать, что женщины с меньшим размером груди демонстрируют более яркую реакцию на нежное поглаживание этой области. Когда я поделился этим наблюдением с З., она сказала: «Размер груди не имеет значения, потому что эрогенные зоны – это соски и ареолы. Окружающая кожа гораздо менее чувствительна». Она отметила, что, хотя размеры соска и груди не коррелируют, размеры ареолы и груди такую корреляцию демонстрируют. Поэтому вполне возможно, что у женщин с большой грудью плотность механорецепторов в этой области снижена, но есть вероятность, что плотность механорецепторов вообще мало связана с эротическими реакциями. Мы будем говорить об этом в двух следующих главах. Я наткнулся на несколько публикаций, где сообщается, что многие женщины, решающиеся на операцию по уменьшению груди, жалуются на недостаток ощущений в области сосков и ареол. Эти данные были подтверждены экспериментально: когда стандартными нитями, пороговым тестом на двухточечную дискриминацию или вибрациями измерялась чувствительность ареолы, женщины с большой грудью (чашка D и больше) демонстрировали устойчиво меньшую чувствительность, чем женщины с чашками A и B.

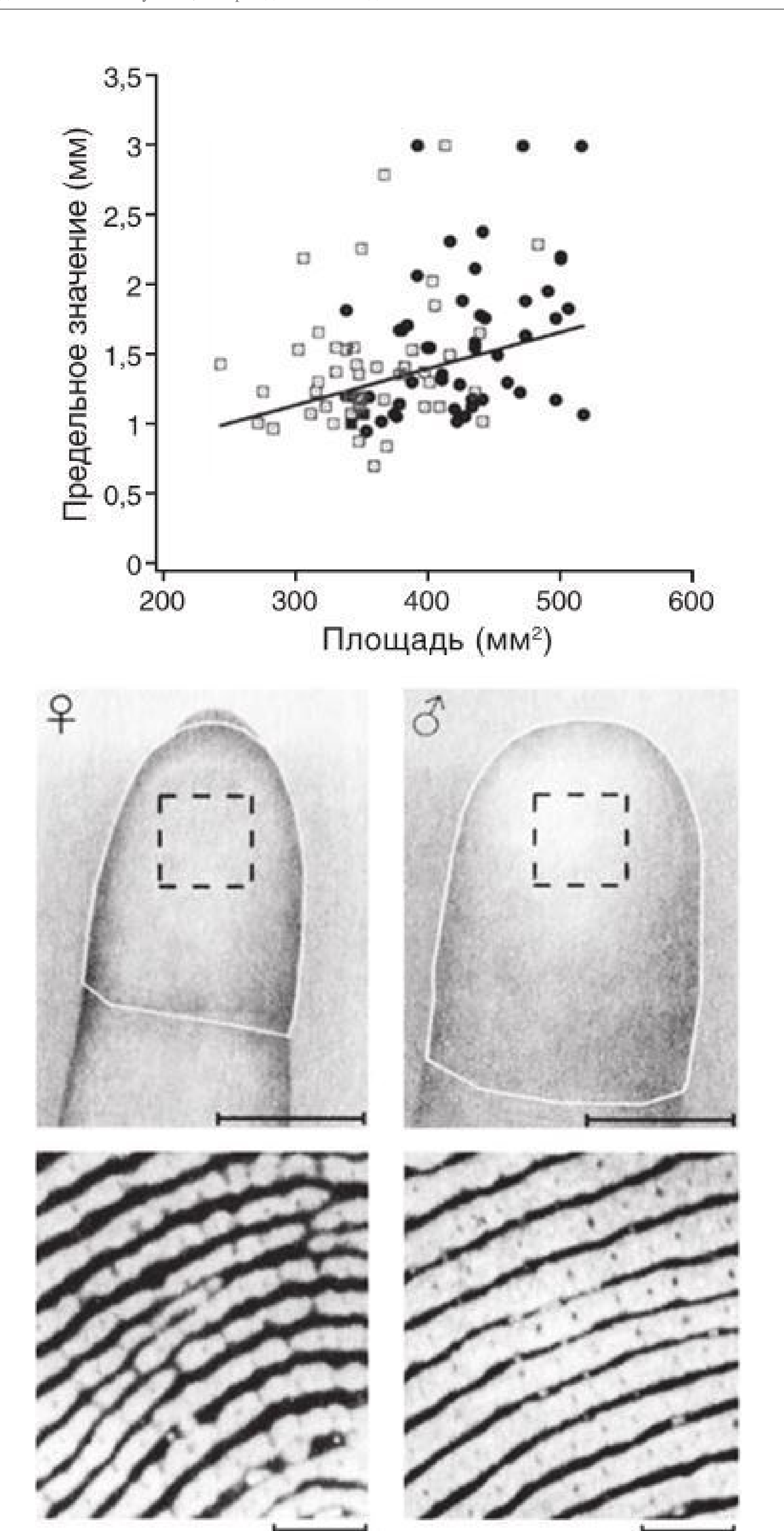

3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
Предельное значение (мм)
200
300
400
500
600
Площадь (мм²)
♀
♂

Рис. 2.11. Острота осязания зависит от площади кончика пальца – как у мужчин, так и у женщин. Вверху: диаграмма рассеяния, связывающая площадь кончика пальца и остроту осязания и демонстрирующая, что чем тоньше палец, тем выше разграничительные способности. Каждая точка на диаграмме соответствует одному участнику эксперимента: квадратные точки – женщинам, круглые точки – мужчинам. Внизу: снимки в высоком разрешении тонкого женского (слева) и толстого мужского (справа) пальцев показывают, что в первом случае плотность потовых пор и, по всей вероятности, кластеров дисков Меркеля выше. Масштаб – 1 сантиметр (сверху) и 1 миллиметр (снизу). Иллюстрация из Peters R. M., Hackeman E., Goldreich D. Diminutive digits discern delicate details: fingertip size and the sex difference in tactile spatial acuity // Journal of Neuroscience 29. 2009. 15 756–15 761, публикуется с разрешения SfN

Сейчас вы уже знаете, что в коже работают разные виды рецепторов и каждый настроен на извлечение своего типа информации об осязаемом мире. Эти потоки информации отправляются в мозг, где после серийной и параллельной обработки простые данные от индивидуальных осязательных сенсоров объединяются и формируют более сложные осязательные шаблоны – например, трехмерную форму, тонкие особенности текстуры или ощущения от поверхности, получаемые посредством какого-либо орудия или инструмента. Но не думайте, что рецепторами, которые мы успели рассмотреть, – быстрыми механическими осязательными рецепторами гладкой кожи – все и ограничивается. Как мы увидим, они отвечают лишь за небольшую часть полного спектра осязательных ощущений.

Глава 3
Анатомия ласки

Балтимор, 1996

В комнате присяжных было жарко и душно. В воздухе висели пылинки, от зноя рассыхались трубы. От одежды присяжных разило смесью одеколона, пота и сигаретного дыма. По неизвестным причинам заседание прервали, и мы уже несколько часов ждали, когда суд возобновится. Я дочитал журнал и обдумывал свидетельские показания. Изложенная в них история поднимала одну из удивительных загадок из области нейробиологии осязания: что такое плохой петтинг?

Одна из балтиморских радостей – возможность поучаствовать в работе окружного суда города Балтимора, которая, впрочем, представляется едва ли не слишком часто. Каждый год мне приходит проклятый зеленый конверт с обратным адресом правительства штата, и каждый год я готовлюсь к еще одному скучному дню в суде. Хотя меня редко действительно выбирают в число присяжных, один раз я им стал.

Обвиняемый, крепкий невысокий девятнадцатилетний ночной сторож, решил представлять себя в суде сам, чтобы не тратить время и деньги на адвоката. Он не знал, что имеет право отклонять кандидатуры присяжных, так что я в итоге стал присяжным номер четыре.

Обвинитель излагал материалы дела. Симпатичная и кокетливая шестнадцатилетняя подружка обвиняемого появилась в пункте первой помощи – изголодавшаяся, в синяках и страдающая от обезвоживания. Она не очень хотела рассказывать, что с ней случилось, но мало-помалу история стала проясняться. Как-то днем они с ее парнем лежали в постели и дурачились. Он попросил поласкать ему член, и девушка согласилась. Когда он пожаловался, что у нее не очень-то получается, она попробовала поменять технику и присовокупила несколько грязных словечек. Но и этого оказалось недостаточно – как объяснил парень, «она дергала то слишком быстро, то слишком медленно». Вскоре он стал впадать в ярость и наконец, выйдя из себя, несколько раз ударил ее по лицу и в грудь. Затем приковал ее к кровати и удерживал так два дня, периодически насилуя. Ее показания соответствовали данным медицинского осмотра, но девушка тревожилась, что будет с парнем: она утверждала, что все равно любит его.

Когда настало время приступить к защите, обвиняемый вкатил в зал суда телевизор и видеомагнитофон и вставил кассету. На видео была запись вечеринки, сделанная через несколько недель после рассматриваемого эпизода. Подростки пили пиво и курили травку, на заднем плане грохотал рэп. Камера выхватила лицо девушки, которая явно была под кайфом – она мямлила и запиналась. Глаза расширены, блестят, взгляд блуждает.

Обвиняемый на видео спросил: – Значит, я тебя не бил, верно?

– Да это был лучший раз в моей жизни! – откликнулась она.

– То есть, – настаивал он, – я тебя не связывал и не нападал, так ведь?

– Ты вообще о чем? – переспросила она.

– Ты говорила, что я тебя изнасиловал, но это ведь вранье, да? – Пофиг, – сказала она. – Бросай эту штуку и давай отрываться.

Когда огласили вердикт, обвиняемый был поражен. Ему не верилось, что подготовленное видео ничем ему не помогло. Мы, присяжные, признали его виновным по всем пунктам: изнасилование, побои и незаконное лишение свободы. В последнем слове он попытался – не очень успешно – сделать вид, что раскаивается:

– Мне стыдно за то, что я сделал. Признаю, я иногда срываюсь, но поверьте – она правда плохо дрочила!

А теперь представьте, что та самая подружка, в стиле фильмов Квентина Тарантино о мести, воспряла духом и, горя праведным гневом, вытащила насильника в переулок позади здания суда и подвергла его болезненной процедуре биопсии икроножного нерва. Этот нерв проходит по задней части икроножной мышцы и пронизывает внешнюю поверхность стопы. Если перерезать нерв и поднести срез к микроскопу, можно увидеть в поперечном сечении огромное количество аксонов, переплетенных друг с другом (рис. 3.1).[63] Аксоны большего диаметра, именуемые А-волокнами, покрыты слоями изолирующего белка миелина, что позволяет ускорять сигнал. А-волокна делятся на несколько подгрупп с разными функциями.

Одна из групп называется А-альфа и очень быстро переносит информацию от особых рецепторов, находящихся в мышцах, суставах и сухожилиях. Эти сигналы позволяют сформировать ментальный образ вашего тела в каждый момент времени. Такая способность называется проприоцепцией – ощущением собственного положения в пространстве. Она позволяет понять, где находится и как двигается ваша рука, даже если у вас закрыты глаза и вы ни к чему не прикасаетесь.

Еще одно А-волокно, А-бета, передает скоростные сигналы от тех механорецепторов на коже, о которых мы говорили в главе 2: дисков Меркеля, телец Мейснера, пачиниевых телец и окончаний Руффини – всего, что отвечает за тонкие осязательные различия, а также сигналы о сгибании волосков кожи. Третий тип, А-дельта, меньше по диаметру и покрыт меньшим числом слоев миелина, а потому передает сигналы со средней скоростью. Некоторые волокна А-дельта отвечают за определенные аспекты чувства боли и температурные ощущения – такие, как резкая, колющая боль и невыносимый холод и зной, но подробнее об этом мы поговорим позже.

[63] Будь это рассказ о мести в духе Тарантино, мы бы сделали биопсию срамного нерва, проходящего через пенис (и без анестезии!). Но это не чисто осязательный нерв: через него проходят моторные и симпатические аксоны. Поэтому я предпочел икроножный нерв, чтобы сделать объяснение более убедительным. Триумф педагогики над поэзией!

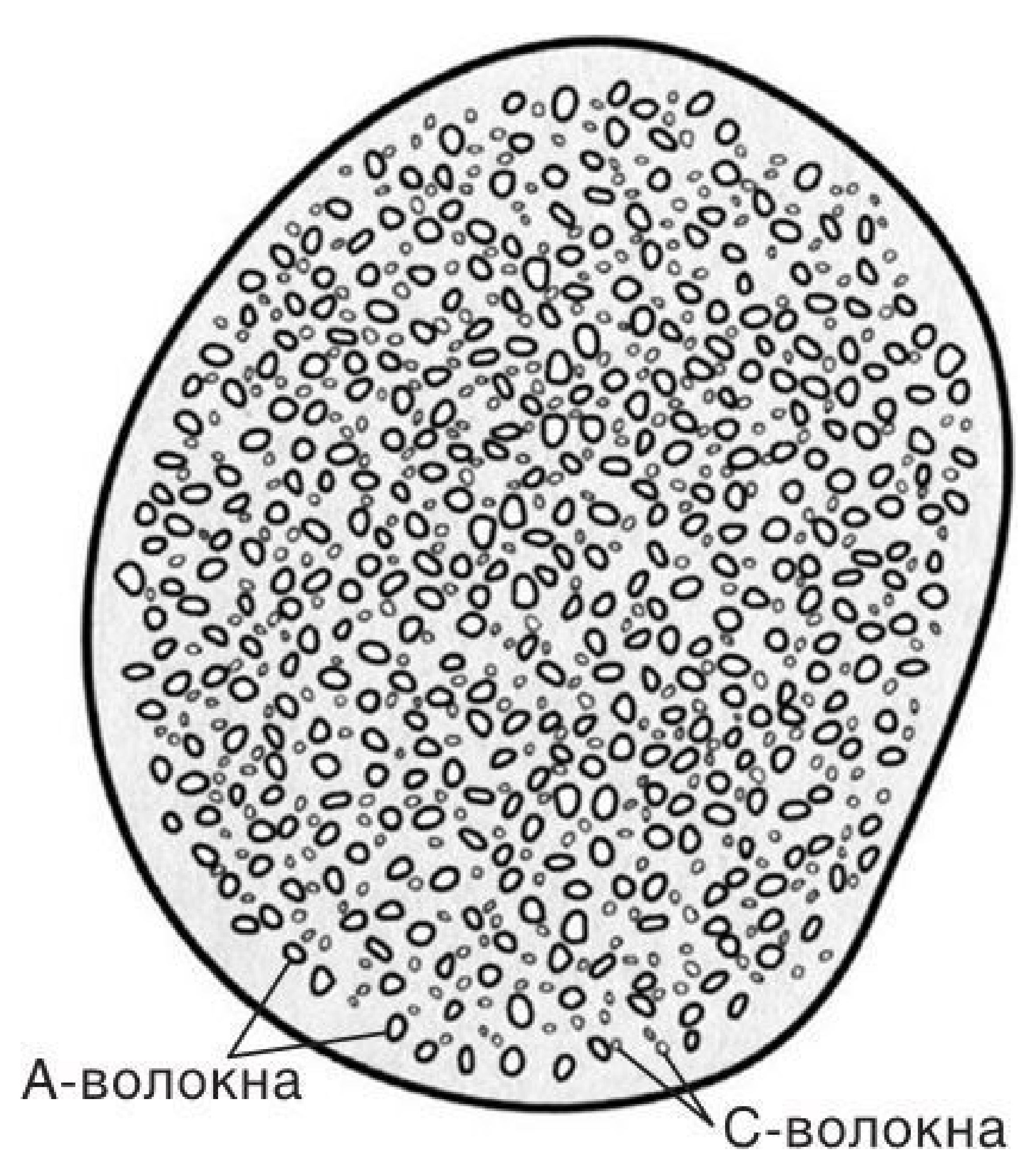


Рис. 3.1. Икроножный нерв в поперечном сечении. Обычный человеческий нерв, который, видимо, имеется и у нашего насильника, содержит переплетенные крупные А-волокна, покрытые миелином, и более мелкие, ничем не покрытые С-волокна. Это один из пучков (пучок – скопление нервных волокон, которые проходят параллельно друг другу, подобно проводам) в икроножном нерве, в котором таких пучков обычно несколько

В икроножном нерве содержатся аксоны и гораздо меньшего диаметра. Они называются С-волокнами и не изолированы миелином. Из-за структурных особенностей электрические сигналы в С-волокнах движутся довольно-таки лениво – со скоростью примерно 3 километра в час. Для сравнения, информация от механорецепторов кожи передается по волокнам А-бета со скоростью 250 километров в час, а сигналы проприоцепции и вовсе гоняются по волокнам А-альфа на скорости под 400 километров в час.[64]

[64] Волокна А-дельта слегка покрыты миелином и имеют средний диаметр. Их проводящая скорость лежит посередине между волокнами А-бета и С-волокнами: 16–113 км/ч.

Скорость пропуска сигналов различными волокнами ограничивает тип информации, который они могут передавать. Быстрые волокна необходимы для сообщений о быстро меняющихся, очень подробных сигналах о форме объекта, его текстуре, вибрации и удаленных ощущениях от инструментов. Все это тонкая осязательная информация, кодируемая механорецепторами и позволяющая нам воспринимать микроскопическую разницу между слегка отличающимися друг от друга осязательными ощущениями. Так что если ощущения от шрифта Брайля поступала бы через медленные С-волокна, мы бы не смогли его читать: для этого нужны быстрые А-волокна.

С-волокна, напротив, не созданы для того, чтобы передавать информацию тем частям мозга, которые отвечают за смыслоразличительные, фактические аспекты осязательных ощущений. Они призваны медленно собирать информацию и фиксировать эмоциональную тональность конкретного прикосновения – если угодно, его дух.

Много лет считалось, что С-волокна переносят лишь сведения о боли, температуре и воспалении (это не острая, колющая, хорошо локализованная боль, а скорее ее медленная, жгучая, пульсирующая, зудящая разновидность, эмоционально еще более неприятная).

Но не так давно выяснилось, что некоторые С-волокна передают особый вид осязательной информации – похоже, они настроены на информирование о межличностном контакте. Эти аксоны называются тактильными С-волокнами и служат рецепторами ласки.

Тактильные С-волокна имеются только в волосистой коже, их окончания оборачиваются вокруг волосяных луковиц, что позволяет им реагировать на отклонение волосков. Мы пока еще не обладаем четкими изображениями тактильных С-волокон человека. Но Дэвиду Гинти и его коллегам из медицинской школы Университета Джона Хопкинса удалось, воспользовавшись генетическими уловками при работе с мышами, ввести фосфоресцирующие молекулы в различные популяции рецепторных нейронов. Исследование показало, что определенные типы волосяных луковиц (тех, из которых растут так называемые зигзагообразные и шиловидные волоски) пронизаны тактильными С-волокнами. Они, видимо, служат эквивалентом человеческих пушковых волос. Интересно, что эти же типы луковиц содержат также волокна А-дельта и А-бета, и их продольные ланцетовидные окончания перекрещиваются друг с другом по удивительной схеме, которая напоминает штакетник (рис. 2.4). Разумеется, меховая шкурка мыши несколько отличается по структуре от лишь слегка покрытой волосками человеческой кожи. Тем не менее результаты этого исследования демонстрируют, что отклонение волосков может породить самые разнообразные ощущения, даже если задействован лишь один тип волосков: это и быстрые смыслоразличительные, эмоционально нейтральные сигналы по волокнам А-бета, и медленные, расплывчатые, приятные сигналы, поступающие по тактильным С-волокнам.

Изучение роли тактильных С-волокон в осязательных ощущениях осложняется тем, что волосистую кожу пронизывают также «быстрые» волокна А-бета и «средней скорости» волокна А-дельта, которые передают сигналы как об отклонении волос, так и от четырех обычных механорецепторов. Нельзя просто погладить волосистую кожу и измерить результат восприятия, достигнутого только тактильными С-волокнами, – ни поведенческие тесты, ни сканирование мозга здесь не помогут, поскольку любое поглаживание активирует и реакции А-волокон. Многие годы эта проблема перекрывающихся сигналов препятствовала нашему пониманию рецепторов ласки.

В тридцать два года Дж. Л. утратила осязание. По ее словам, она ничего не ощущает под собственным носом, а если закроет глаза, то не может представить себе, где в пространстве локализованы ее конечности. Это неврологическое расстройство Дж. Л. заслуживает особого внимания. Она в своем уме и не страдает ни когнитивным расстройством, ни депрессией. Ее способности к сокращению мышц и, соответственно, перемещению тела в пространстве тоже

не нарушены, но женщина лишилась проприоцепции и, когда нужно определить положение конечностей, вынуждена полагаться в основном на зрение. В результате ее движения стали медленными и плохо скоординироваными, так что для прогулок ей приходится использовать кресло-каталку. После интенсивной физиотерапии ей удалось научиться самостоятельно жить в своем доме в канадском Квебеке и ни от кого не зависеть, что она и делает уже многие годы (на момент написания книги ей 65 лет).

Биопсия икроножного нерва Дж. Л. позволила выяснить причину неспособности женщины к осязанию. Она утратила крупные, покрытые миелином волокна А-альфа, которые переносят информацию о проприоцепции, и А-бета, доставляющие сигналы от механорецепторов (рис. 3.2).

Поскольку волокна А-дельта и тактильные С-волокна остались целыми, Дж. Л. по-прежнему ощущала боль и температуру. Она одна из немногих людей в мире, страдающих этим синдромом, который получил название острой сенсорной нейропатии.[65] Некоторые из тех, у кого также диагностирован этот синдром, сообщают, что воспринимают свое тело как нечто инородное. Они живут в этих телах, но не ощущают их как собственные. Другие считают, что обращают на свое тело слишком много внимания, поскольку сосредоточиваются на том, чтобы все-таки воспринимать те немногие осязательные ощущения, которые у них сохранились.



Рис. 3.2. Биопсия икроножного нерва пациентки Дж. Л. Заметьте, что в икроножном нерве Дж. Л. отсутствуют крупные, покрытые миелином А-волокна, а мелкие С-волокна без миелина сохранились. В центре для сравнения показан обычный нерв. Нерв пациента, страдающего норрботтенским синдромом (также известным как HSAN V), соответствует состоянию, обратному состоянию Дж. Л.: крупные А-волокна сохранились, а волокна А-дельта и С исчезли

Сама Дж. Л. не жалела времени, часто соглашаясь стать объектом исследований. Хотя она утверждает, что в повседневной жизни полностью не воспринимает осязательные сигналы, в лаборатории было выявлено интересное исключение. Когда волосистую кожу ее предплечья гладили мягкой кисточкой или легонько ласкали кончиком пальца и просили ее сосредоточиться, она испытывала смутные приятные ощущения, не омраченные болью, температурой,

[65] Острая сенсорная нейропатия постоянна и не наследуется. Обычно она не связана с нарушениями иммунной функции. Во многих (но не во всех) случаях она стала результатом лечения большими дозами определенных антибиотиков – пенициллина и сходных соединений.

зудом или покалыванием. Сильно напрягшись, она обычно могла сказать, к какой из ее рук прикасаются, но ей никогда не удавалось точно локализовать прикосновение. При этом нужно отметить, что прикосновений к гладкой коже ее ладони она вообще не чувствовала. Эти расплывчатые приятные ощущения передаются уцелевшими тактильными С-волокнами, которые проходят по волосистой коже и отсутствуют в гладкой. Удивительно, но Дж. Л. и пациенты с тем же диагнозом не воспринимают быстрые, богатые информацией, эмоционально нейтральные смыслоразличительные прикосновения, но, видимо, сохраняют специализированную медленно функционирующую систему восприятия расплывчатых приятных прикосновений, передающих ощущение безопасности.

Но функционируют ли тактильные С-волокна Дж. Л. так же, как и у здоровых людей, или имеют свои особенности, связанные с потерей соседних А-волокон? Судя по всему, верно первое предположение. После записи электрических сигналов от одиночных нервных волокон, расположенных в руках здоровых людей, экспериментаторам удалось локализовать тактильные С-волокна, реагировавшие на ласкающие прикосновения к волосистой коже, а не на ее простое растяжение или вибрацию. (При любых прикосновениях к гладкой коже ладони тактильные С-волокна никогда не активируются.)

У здоровых людей можно записать сигналы от одиночных волокон А-бета, которые соответствуют различным типам описанных ранее механорецепторов кожи (диски Меркеля, пачиниевы тельца и т. д.), но все они обладают свойствами, которые отличают их от реакции тактильных С-волокон. А-бета волокна реагируют как на ласки в области предплечья, так и на другие формы тактильной стимуляции – контакты с рельефными поверхностями и острыми краями и вибрации. Конечно, они воспринимают и прикосновения к гладкой коже ладоней и пальцев. Важнее всего то, что, в отличие от тактильных С-волокон, А-бета эффективнее всего активируются в ответ на интенсивную стимуляцию: чем быстрее прикосновение, тем сильнее отклик. Волокна А-бета способны откликаться на большое количество осязательных стимулов, в то время как тактильная С-система, видимо, настроена на один конкретный тип прикосновения – легкое поглаживание с определенной скоростью. Эта подстройка под определенную скорость играет ключевую роль в восприятии. При поглаживании здоровых людей по предплечью или бедру с различной скоростью выяснилось, что наиболее приятными считаются прикосновения в диапазоне от 3 до 10 сантиметров в секунду, то есть именно те, которые больше всего активируют тактильные С-волокна.

При проведении картографирования мозга здоровых людей оказалось, что поглаживание по предплечью активирует первичную и вторичную соматосенсорную кору, которые отвечают за тонкое различение формы и текстуры и обрабатывают информацию, идущую от волокон А-бета, а также зону под названием задняя центральная доля, участвующую в эмоциональном аспекте восприятия обработки сенсорных сигналов. В поврежденном мозге Дж. Л. поглаживание по предплечью активирует заднюю центральную долю, а не первичную или вторичную соматосенсорную кору, из чего можно сделать вывод, что сохранившиеся у нее тактильные С-волокна существенно воздействуют на первую зону, а не на другие (рис. 3.3). Более того, те же самые поглаживания со средней скоростью, которые резко активируют тактильные С-волокна и считаются наиболее приятными, вызывают резкую активизацию задней центральной доли как у Дж. Л., так и у здоровых испытуемых.

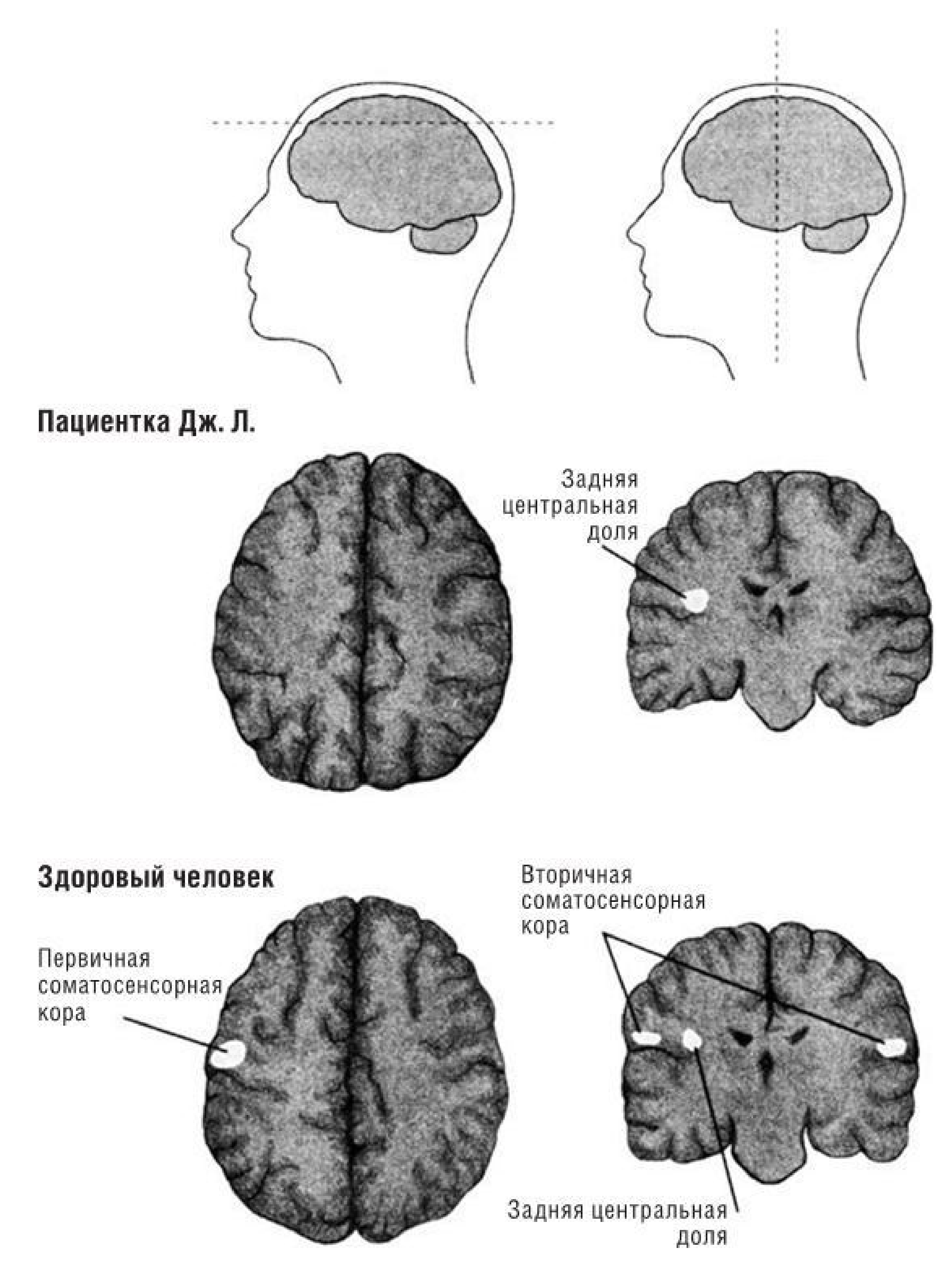


Рис. 3.3. Легкое поглаживание правого предплечья активирует переднюю центральную долю мозга как у пациентки Дж. Л., у которой отсутствуют большие сенсорные нервные волокна, покрытые миелином, так и у здоровых пациентов. Первичная и вторичная соматосенсорная кора, отвечающая за тонкие смыслоразличительные функции осязания, опознание и локализацию осязательных стимулов, у Дж. Л. при легком поглаживании не активируется. Отметим, что, в соответствии с тем, о чем мы говорили в главе 2, стимуляция правого предплечья активирует только левую часть первичной соматосенсорной коры и обе – левую и правую части вторичной соматосенсорной коры у здоровых людей. Данные, представленные здесь, взяты из: Olausson H., Lamarre Y., Backlund H., Morin C., Wallin B. G., Starck G., Ekholm

S., Strigo I., Worsley K., Vallbo A. B., Bushnell M. C. Unmyelinated tactile afferents signal touch and project to insular cortex // Nature Neuroscience. 2002. 5. 900–904, с разрешения Nature Publishing Group

Все эти эксперименты указывают, что тактильные С-волокна служат своего рода детекторами ласки, которые располагаются в волосистой коже и тянутся к задней центральной доле, активация которой вызывает медленные, расплывчатые, приятные ощущения.

Важно, что это свойственно для всех людей, а не только для тех, кто, как Дж. Л., страдает сенсорной нейропатией. То же самое относится и к девятнадцатилетнему насильнику, дело которого я рассматривал в суде присяжных. Хотя головка пениса покрыта гладкой кожей, кожа у его основания волосистая, а следовательно, содержит тактильные С-нервы. Вполне вероятно, что петтинг, который так его взбесил (был то слишком быстрый, то слишком медленный), не укладывался в диапазон, в котором такие ласки резко активируют тактильные С-рецепторы в волосистой коже основания пениса.

Если вы пообщаетесь с жителями Норрботтена, большой и малонаселенной области Швеции за полярным кругом, вам расскажут, что все их проблемы начались в XVII веке, а то и раньше – с появления человека, который не чувствовал боли. Из-за этого он часто получал травмы – от царапин на коже до переломов костей и растяжений связок. Эту особенность он передал по наследству.[66] Жители Норрботтена нередко женились на двоюродных и троюродных сестрах, что только способствовало наследованию нечувствительности к боли, которая характерна для жителей этого региона и в наши дни.

Нечувствительность к боли норрботтенских пациентов проявляется в разной степени, но все они в значительной мере ограничены в восприятии как поверхностной, так и глубокой боли, а также температуры. С когнитивной точки зрения они совершенно нормальны, их различительные способности при осязании остаются неизменными, как и проприоцепция и двигательная координация. Генетическое тестирование показывает, что при норрботтенской мутации повреждается ген, кодирующий белок под названием NGFbeta – фактор роста нервов бета. Этот белок необходим для выживания небольших сенсорных нейронов, так что неудивительно, что биопсия нервов этих пациентов выявляет потерю С-волокон и волокон А-дельта, в то время как большие, покрытые миелином волокна А-альфа и А-бета сохраняются (рис. 3.2).[67]

Норрботтенский синдром сенсорных нервов – практически полная противоположность состояния пациентки Дж. Л., у которой сохраняются С-нейроны и нейроны А-дельта. Хотя норрботтенские пациенты больше известны своей нечувствительностью к боли, потеря С-волокон означает, что их тактильные С-волокна, ответственные за различение ласки, тоже повреждены. При сканировании мозга норрботтенских пациентов оказалось, что поглаживание по предплечью с идеальной средней скоростью лишь незначительно активирует заднюю центральную долю, так что эту ласку они находят значительно менее приятной, чем другие пациенты сравнимого возраста и пола.[68] Если сложить все кусочки головоломки (результаты, полученные в ходе исследования пациентов с нарушением С-волокон, как в Норрботтене, и пациентов с

---

[66] Исторические детали кому-то представляются спорными. Некоторые жители Норрботтена утверждают, что «основоположник» нечувствительности к боли жил даже раньше, возможно, еще до того, как предки семей норрботтенцев в XVI веке перебрались сюда из Южной Финляндии.

[67] Норрботтенский синдром нечувствительности к боли называется наследственной сенсорной и автономной нейропатией типа V (сокращенно HSAN).

[68] Интересно, что потерю чувствительности С-волокон можно также наблюдать у грызунов: голые землекопы – это один из примерно двадцати видов семейства землекоповых, которые живут в Африке и практически полностью лишены волос. У них, по сравнению с родственниками, покрытыми шерстью, имеется лишь 25 % С-волокон. Предполагается, что оставшиеся С-волокна у голых землекопов отвечают за медленную боль и температурные ощущения.

сохранившимися С-волокнами, как у Дж. Л.) воедино, можно предположить, что тактильные С-волокна активируют в мозгу специализированную систему, воспринимающую ласки.[69]

Итак, у нас в коже параллельно работают две отдельные осязательные системы, отвечающие за принципиально разные аспекты тактильного мира (рис. 3.4). Быстрые волокна А-бета передают осязательную информацию с большим пространственным и временным разрешением, что позволяет устанавливать различия между очень похожими стимулами в любой части тела. Они имеют дело с фактами. Медленная же система С-волокон отвечает за ласки и занимается лишь расплывчатыми, эмоционально положительными ощущениями только в волосистой коже. Вся суть в эмоциях, в общем духе; эта система передает и важнейшую социальную информацию, которая необходима для должного эмоционального развития новорожденных, и информацию о социальных прикосновениях, которые очень важны для развития доверия и сотрудничества как у людей, так и у других животных.

Зачем вообще нужна отдельная С-система, принимающая медленные, расплывчатые сигналы? Разве информация, которая передается с ее помощью, – это не составная часть общей информации, распространяемой через волокна А-бета? Почему бы попросту не определять ласки при помощи волокон А-бета и быстрых механорецепторов?

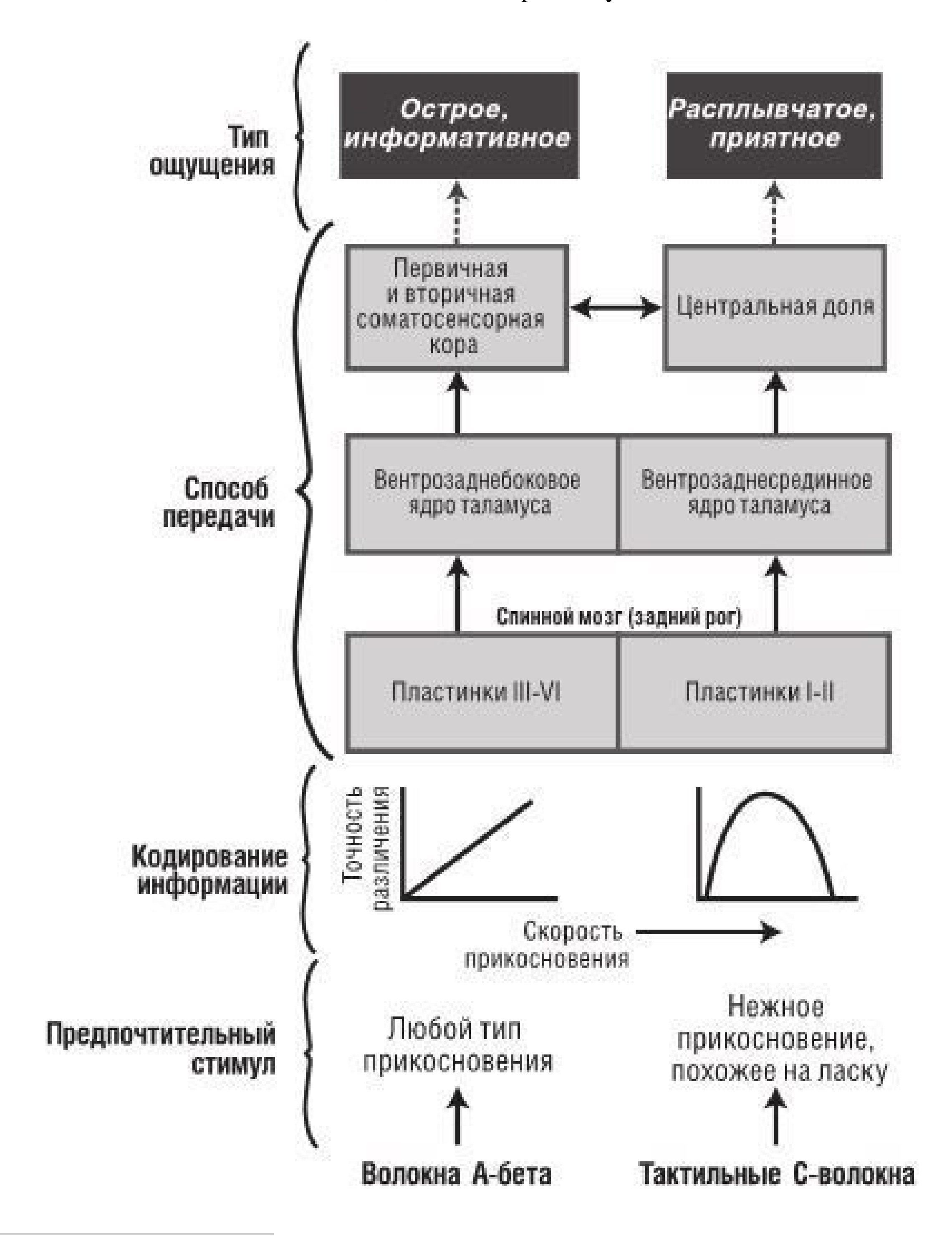
Вот один из вариантов ответа: если представить себе, что эмоциональная информация о социальном прикосновении определяется его скоростью, то проще будет выработать отдельные детекторы для низкой скорости, то есть тактильные С-волокна. В детекторах более широкого спектра, таких как волокна А-бета, информация, имеющая эмоциональную значимость, теряется среди других тактильных сигналов, не имеющих эмоционального значения, так что извлечь ее трудно. Но почему тогда не ограничиться набором быстрых волокон А-бета, настроенных на оптимальную скорость поглаживания? Это позволило бы наилучшим образом контактировать с обоими мирами – избирательно выделять ласку, но сохранять скорость передачи информации. Окончательного ответа на этот вопрос пока нет. Быть может, интегрирование по времени, которое обеспечивает медленные сигналы, более оптимально для принятия решений, основанных на эмоциональных прикосновениях. Есть ситуации, когда выбор надо делать тщательно, основываясь на более длительных осязательных стимулах. Ведь вы вряд ли хотели бы принять случайное прикосновение за социально мотивированную ласку. (Как говорят мои дети-подростки, «это было бы тупо».) Или, возможно, волокна А-бета просто очень дорого обходятся в плане потребления энергии, а их миелиновым оболочкам требуется слишком много места в поперечном сечении нерва. Поэтому, если скорость не так важна, преимуществом будет не платить за это биологическую цену и пользоваться более «дешевыми» и медленными волокнами. Еще вариант – система С-волокон возникла раньше и в силу своей древности сопротивляется эволюционным изменениям.

Важно отметить, что эти две осязательные системы – быстрая и медленная – все же не до конца обособлены друг от друга. Существует двусторонняя связь между задней центральной долей – основным местоположением тактильной С-системы в коре головного мозга – и первичной и вторичной соматосенсорной корой, которые обрабатывают тонкие осязательные различия, передаваемые через волокна А-бета (рис. 3.4). Одна система воздействует на другую и наоборот, и каждая из них в очень значительной мере зависит от ситуативного и социаль-

[69] Нужно сделать несколько важных замечаний относительно роли тактильной С-системы в социальных прикосновениях. Большинство экспериментов, результаты которых поддерживают теорию об особой роли С-системы, поставлены на людях. В этих условиях мы обладаем ограниченными возможностями записывать нервные сигналы и следить за анатомией тактильных С-волокон. Например, известно, что у мышей тактильные С-волокна образуют копьевидные окончания на волосяных луковицах и активируются прикосновениями, которые сгибают волоски. Мы пока не знаем, так ли это у людей. Вероятно, С-тактильные волокна также передают и осязательные сигналы, не имеющие отношения к социальному осязанию. Мы знаем, что тактильные С-волокна отсутствуют в гладкой коже, но прикосновения к гладкой коже могут играть у людей существенную социальную роль: например, рукопожатие или задержка руки собеседника в своей.

ного контекста. Совершенно одинаковые поглаживания с оптимальной скоростью абсолютно по-разному воспринимаются со стороны любимого человека и незнакомца – или даже со стороны любимого человека в момент сильной эмоциональной близости и во время неоконченного спора.

Хотя при оптимальной ласке сильнее всего активируется задняя центральная доля мозга, недавние исследования показали, что первичная соматосенсорная кора тоже может подвергаться активации, уровень которой зависит от социальных и когнитивных факторов – например, от пола ласкающего человека. А эта информация предположительно поступает из участков мозга, отвечающих не за осязание, а за иные органы чувств.[70]



[70] В этих исследованиях все участники были гетеросексуальными мужчинами, которых заставляли поверить, что их чувственно ласкает мужчина или женщина. На самом же деле все ласки осуществляла женщина.

Рис. 3.4. Эта схематическая диаграмма показывает, как информация двумя отдельными потоками поступает от волосистой кожи к мозгу, где обрабатываются и быстрые информационные прикосновения, и медленные расплывчатые ласки. Система волокон А-бета линейно реагирует на любые типы прикосновений: быстрые и более сильные касания порождают более мощные электрические сигналы (более мощные импульсы) в быстрых аксонах, покрытых миелиновой оболочкой. Эти волокна проходят в более глубоких слоях заднего рога спинного мозга, которые называются пластинками III–VI, и посредством синаптической передачи в мозговом стволе пересекают среднюю линию и активируют зону таламуса, именуемую вентрозаднебоковым ядром. Там нейроны таламуса направляют свои аксоны активировать первичную и вторичную соматосенсорную кору, где происходят последующие вычисления, которые лежат в основе смыслоразличительных осязательных способностей. Напротив, тактильная С-система настроена на восприятие легкого поглаживания со средней скоростью, что накладывает значительные первичные ограничения на осязательную информацию. Медленные тактильные С-волокна контактируют с нейронами в более поверхностных пластинках I и II заднего рога спинного мозга, те пересекают среднюю линию и направляют аксоны по так называемому спинно-таламическому пути для активации нейронов в других областях таламуса: заднем и базовентромедиальном ядрах. Они, в свою очередь, направляют свои аксоны в заднюю центральную долю, где и формируется приятное расплывчатое ощущение. Рисунок адаптирован из: Morrison I., Löken L. S., Olausson H. The skin as a social organ // Experimental Brain Research 204. 2010. 305–314, с разрешения Springer

В главе 1 мы говорили о важной роли социальных прикосновений в развитии и укреплении доверия и сотрудничества в разнообразных вариантах взаимодействия – от младенцев до взрослых, от коллег до любовников. Ласка означает, что вы в безопасности. Вы можете доверять человеку, который вас ласкает, как вы доверяете матери, которая приласкала вас впервые; этот человек – не угроза.

Тактильная С-система играет важную роль в такой коммуникации. Ласки активируют не только заднюю центральную долю и обе соматосенсорных коры, но и другие области мозга, в которых сходится многообразная сенсорная и моторная информация. Сюда относятся и области коры, отвечающие за социальное познание: это и верхняя височная борозда, и префронтальная кора, и передняя поясная кора. Конечно, исследования этих областей проводились на примере здоровых людей, а не пациентов с диагнозом Дж. Л., так что эти центры социального познания, вероятно, получали и тактильные сигналы А-бета, но они значительно меньше активировались в ответ на быстрое прикосновение, чем на поглаживание с оптимальной скоростью, что подтверждает важную роль тактильной С-системы в управлении их откликами и, вероятно, социальными связями.

Взрослые с расстройствами аутистического спектра испытывают затруднения с социальным познанием и с определением социальных намерений других людей. Они часто питают отвращение к некоторым формам социальных прикосновений и считают поглаживания в оптимальном темпе менее приятными, чем представители контрольной группы исследуемых. Более того, существует положительная корреляция между серьезностью аутистического расстройства и снижением приятных ощущений: люди с острым аутизмом оценивают поглаживания как наименее приятные. При картографировании мозга людей с расстройствами аутистического спектра выяснилась похожая корреляция: у наиболее подверженных аутизму при поглаживании рук с оптимальной скоростью в наименьшей степени активировались определенные центры социального познания (префронтальная кора и верхняя височная борозда).

Хотя это исследование интересно и дает пищу для размышлений, многое остается необъясненным. Где именно локализован дефект в обработке ласкающих прикосновений? Тактильные С-волокна людей с тяжелым аутизмом передают ощущения от ласки в нормальном режиме

или же дефект таится в активности кожи и рецепторных нервов? В норме ли у людей, страдающих аутизмом, отклик на ласки в задней центральной доле? И вероятно, самое важное: что тут – причина, а что – следствие? Сама ли неполнота ощущений ласки заставляет аутистов избегать социальных контактов? Из-за нее ли им трудно дается определение социальных намерений окружающих? Вспомним, что норрботтенские пациенты, у которых отсутствуют тактильные C-волокна, остаются в рамках когнитивной нормы и не выказывают признаков аутизма (правда, именно этот вопрос не подвергался серьезному изучению). Есть и альтернативный вариант: поиски ласк и их положительное восприятие основаны на сформированном в достаточной степени опыте. Жизнь же людей с аутизмом носит менее социализированный характер по причинам, не имеющим отношения к осязанию, что, возможно, и препятствует получению опыта такого рода.

В тринадцать лет мне, как и большинству людей, только предстояло получить сколько-нибудь значительный опыт романтических отношений. Поэтому я внимательно и напряженно смотрел очень сексуальный (хотя в нем было много другого наворочено, в том числе и политики) фильм Лины Вертмюллер «Отнесенные необыкновенной судьбой в лазурное море в августе», на который ходил с мамой. Главные герои, которых играли Джанкарло Джаннини и Марианджела Мелато, ласкали друг друга так ярко, убедительно и непосредственно, что я почти не мог этого вынести. Я не просто смотрел на актеров – я испытывал их ощущения на собственной коже и сейчас, почти сорок лет спустя, все еще четко их помню.

Тем, что мы способны воспринимать прикосновения актеров на экране так же, как реагировали бы на поглаживания собственной кожи, мы обязаны нейронной информации, получаемой задней центральной долей – главной зоной коры, активируемой ласками, и ключевым эмоциональным узлом мозга. Помимо информации от тактильных C-волокон в заднюю центральную долю поступает значительно обработанная визуальная информация. Если в фильме актер гладит актрису по руке, у нас происходит активация задней центральной доли, как будто бы по руке гладили нас самих.

Удивительно, что, как и в случае с реальными поглаживаниями, задняя центральная доля сильнее всего возбуждается, если ласки в фильме происходят с оптимальной скоростью, а не быстрее или медленнее. Зрители тоже оценивает фильмы с оптимальной скоростью поглаживаний как наиболее приятные. Норрботтенские пациенты, у которых отсутствуют тактильные C-волокна, по сравнению с участниками контрольной группы, оценили ласки в кино как значительно менее приятные и не уловили особой разницы в скорости поглаживания. Таким образом, и здоровые люди, и норрботтенские пациенты оценили ласки в кино в соответствии с собственным тактильным опытом восприятия ласк.

Мы, люди, настроены на прием эмоциональных прикосновений не только к нам самим, но и при наблюдении за другими. Мы очень чувствительны к таким сигналам между людьми. Это важная часть нашего социального познания позволяет нам замечать изменения дружеских связей, образование новых групп и перемену статуса в них отдельных людей. Ну и конечно, она служит источником бесконечных сплетен: «Видела, как она его гладит по руке?»

Глава 4
Сексуальные прикосновения

Это было в самом начале наших отношений. Мы с Б. переспали всего несколько раз и еще продолжали исследовать тела, а также сексуальные предпочтения и антипатии друг друга. После чудесной ночи любви мы провалились в сон и проснулись лишь через несколько часов, когда яркий, настырный солнечный свет пробился сквозь щели в шторах. Мы обнимались и что-то бормотали друг другу, полусонные, счастливые и мало что соображающие. Постель все еще хранила запахи бурной ночи, и это только усиливало наше смятение после пробуждения: казалось, все происходит во сне. Наши губы слились в поцелуе, и я стал медленно гладить ее по животу, продвигаясь выше, и в конце концов накрыл ладонью ее грудь. Она ободряюще застонала, и я начал осторожно покручивать ее сосок большим и указательным пальцами. Но это, похоже, не вызывало у нее никакой реакции, что меня несколько удивило: раньше она пылко откликалась на такую ласку, иногда даже достигая оргазма только от нее. Да и сосок на ощупь был каким-то не таким – и вот он внезапно оторвался от ее груди и остался у меня в руке.

И тут я совсем перестал что-либо понимать, но все же попытался как-то разобраться в ситуации:

1. Я держал в руке сосок Б., отсоединившийся от ее тела.
2. Этот факт, похоже, ее вообще не встревожил. Она сонно мне улыбалась, хотя вскоре улыбка сменилась обеспокоенностью в ответ на выражение ужаса на моем лице.
3. Никакой крови не было.

У меня в голове все перепуталось; я уже ничего не соображал. Как такое вообще возможно?

Во время трагических событий – например, страшной автомобильной аварии – наши жизни меняются в мгновение ока. Но это поддается объяснению с точки зрения физики: объекты сталкиваются, расходуя энергию, между ними действуют силы притяжения и силы трения. Как бы не пострадали мы сами, наши ключевые представления о физическом мире не страдают. Но сейчас, лежа солнечным утром в постели, я оказался одновременно фокусником и его зрителем и совсем растерялся. На основании всего своего предыдущего жизненного опыта я был убежден, что три моих наблюдения, приведенные выше, просто не могут быть правдой.

Даже сегодня я понятия не имею, сколько это длилось: возможно, я трогал и с недоумением созерцал оторвавшийся сосок всего несколько секунд. Потом я стал замечать, что сосок не такой, как всегда – теплый, мягкий, слегка сморщенный: он был больше обычного, пористый и словно вощеный. Разумеется, после пристального осмотра я понял, что это вовсе и не сосок. Интенсивно вращавшиеся колесики в моей голове наконец заработали: пористый объект оказался ушной заглушкой, которая ночью выпала из уха и попала ей на грудь. Мое сердце готово было выскочить из груди, я шумно выдохнул, но только через несколько секунд (или, как мне показалось, несколько жизней) сумел объяснить Б., что случилось.

История с оторванным соском иллюстрирует важное обстоятельство, касающееся ощущения, восприятия и разнице между первым и вторым. То, как мы воспринимаем чувственное событие, определяется не просто физическими параметрами соответствующего стимула (например, силой в 10 гс, приложенной к подушечкам большого и указательного пальцев). Не всегда имеет значение и то, каким образом параметры этого стимула отфильтровываются преобразующими его рецепторами (в нашем случае – свойствами механорецепторов кожи в

подушечках этих двух пальцев). Даже если прибавить к этим данным дополнительную информацию, полученную благодаря исследовательскому поведению (проприоцепторные сигналы от мышц руки и ладони), мы *все равно* не можем рассчитывать на полное восприятие стимула. Наше восприятие чувственного стимула в значительной мере зависит от наших ожиданий, которые формируются имеющимся на данный момент жизненным опытом.[71] Мы ведь знаем, что соски обычно не отваливаются, а если бы это каким-то образом произошло, то повлекло бы за собой кровотечение и крики боли. Мы по собственному опыту знаем о существовании силы тяжести, о том, что тела живых млекопитающих теплые и т. д. Если ожидания не совпадают с ощущениями, это признак того, что происходит нечто странное, так что наше восприятие этого ощущения фундаментальным образом меняется.

Кроме того, ключевую роль в чувственном опыте играет контекст. Большинству из нас ощущение, когда кто-то пальцем проводит нам по губам, кажется восхитительным и погружает в романтическую атмосферу, если мы наедине с любимым человеком, но если мы находимся в кабинете врача, то в этом определенно нет ничего эротического.[72] Разумеется, контекстное восприятие не ограничивается осязанием. Так, вкус кофе может показаться мерзким, если вы считали, что у вас в кружке чай, – даже если обычно вы предпочитаете именно кофе. Легкий аммиачный запах в общественном туалете отвратителен, но он же покажется приятным в сырной лавке (рис. 4.1).

[71] Некоторые из наших ожиданий генетически предопределены и не зависят от опыта. Например, мы предрасположены считать, что источник света находится в верхней, а не в нижней части поля обзора. Отсюда старый туристский трюк, когда вы делаете жуткое лицо, подсвечивая его снизу фонариком.

[72] Конечно, некоторых и прикосновение врача возбуждает. Но эта вариация человеческого поведения – исключение, которое только подтверждает правило. Восприятие стимула в целом зависит от предшествующего опыта человека. Но поскольку опыт у всех разный, то и восприятие различно.

Рис. 4.1. Один и тот же запах может восприниматься как отвратительный или приятный в зависимости от контекста и ожиданий. Эта общая черта любого восприятия относится и к осязательным ощущениям. Комикс Джулии Уэрц; используется с разрешения автора

Сексуальные прикосновения бывают самыми разными, но ключевая роль в них обычно принадлежит губам и соскам. Многих из нас легкое прикосновение пальцами или губами к ушам, шее, внутренней поверхности предплечья или анусу настраивает на сексуальный лад. При этом не важно, мужчина вы, женщина или интерсекс, гетеросексуал, гей или бисексуал, – опросите достаточное количество представителей любой из этих групп, и найдутся люди, которые испытывают сексуальный подъем от прикосновения почти к любой части тела. (Если не верите, просто поищите в интернете «брови фетиш» или «подмышки секс».)

Почти безграничные вариации сексуального поведения – одна из основных особенностей человеческого опыта.

Но, каков бы ни был эротический потенциал подмышек, ушей и бровей, гениталии в этом отношении уникальны. В нужном контексте почти все считают сексуально возбуждающей стимуляцию наружной части клитора или головки пениса. Почему так происходит? Как и на губах и на кончиках пальцев, кожа на наружной части клитора и на головке пениса гладкая: там отсутствуют любые волоски, а следовательно – и прикрепленные к ним нервные волокна. Как мы знаем, губы и кончики пальцев усеяны механорецепторами, которые отвечают за тонкие смыслоразличительные прикосновения, но и на клиторе, и на головке пениса этих механорецепторов очень мало, зато в их тканях огромное количество свободных нервных окончаний, которые транслируют жару, холод, боль и воспаление.[73] К тому же там есть специализированный тип нервных окончаний, образованных скрученным в спираль аксоном, обернутым несколькими изолирующими клетками ненейронной природы (рис. 4.2). Они называются генитальными концевыми луковицами (или, если привести замечательный немецкий оригинал, *Genitalnervenkörpenchen*).

Хотя уже много лет идут споры об их распределении, судя по всему, генитальные концевые луковицы встречаются не только собственно в гениталиях. В других тканях есть схожим образом скрученные, неплотно завернутые в изоляционный слой нервные окончания, которые именуются кожно-слизистыми концевыми органами. Они присутствуют и в других типах гладкой кожи, которая также может быть задействована в сексуальных прикосновениях: это губы, соски и кожа, окружающая анальное отверстие. Возможно, наружная часть клитора и головка пениса играют важнейшую роль в сексуальных ощущениях просто потому, что обладают повышенной плотностью такого типа нервных окончаний. Из всех тканей больше всего этих окончаний в наружной части клитора, а в головке пениса самая высокая их плотность – в венце (борозда, отделяющая головку от других частей пениса) и в уздечке (эластичная ткань внизу головки). Эти зоны мужчины часто называют самыми чувствительными для сексуального стимулирования.

[73] Свободные нервные окончания идут от медленно проводящих сигналы А-дельта- и С-волокон. Функции этих волокон – проводников болевых и температурных ощущений – мы рассмотрим во всех подробностях в главах 5 и 6.

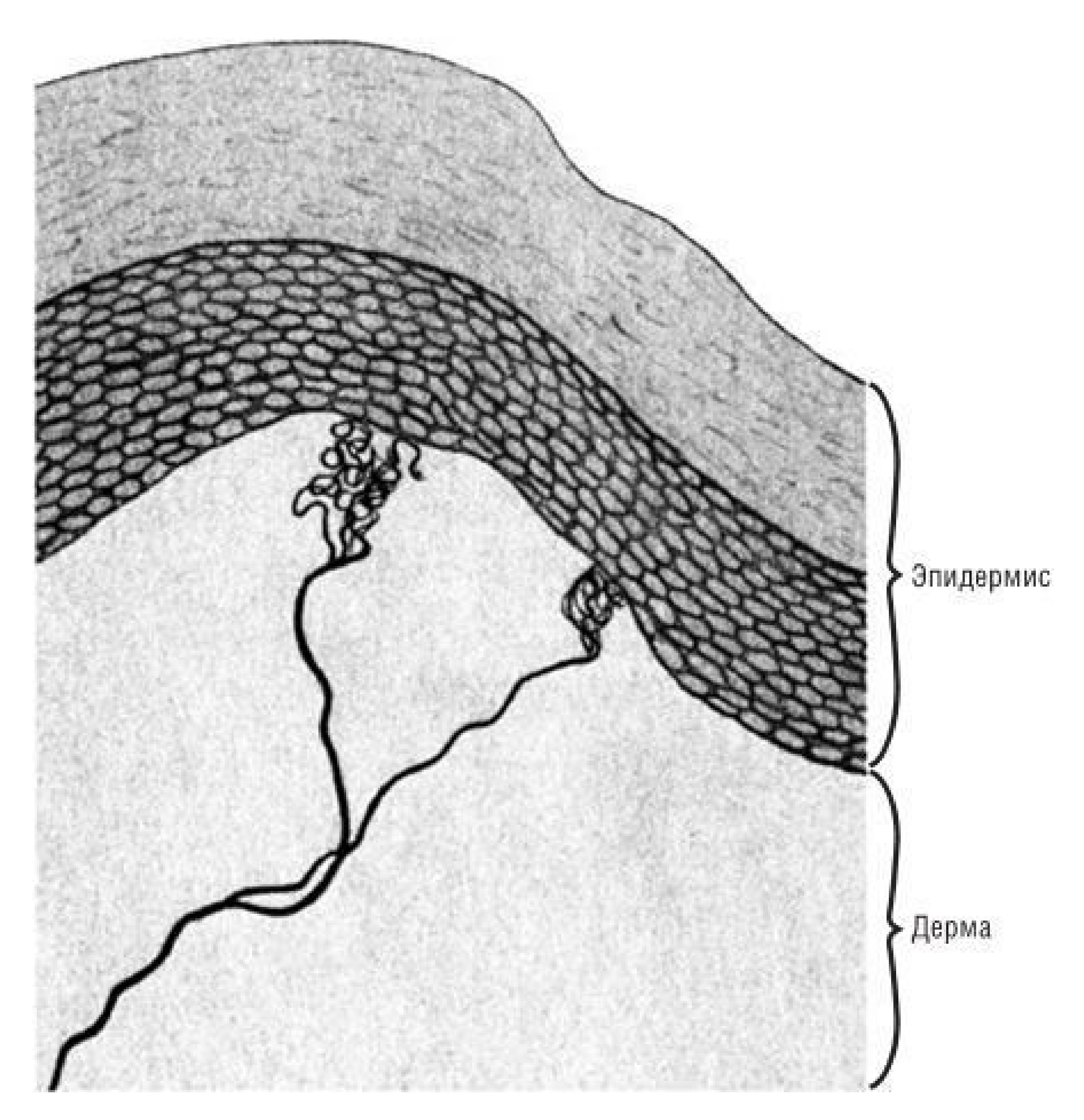


Рис. 4.2. Насколько важна эта структура для сексуальных прикосновений? Это две генитальные концевые луковицы в коже головки пениса. Они находятся в самом близком к поверхности слое дермы. В головке клитора они имеются в еще большем количестве

Но действительно ли кожно-слизистые конечные органы играют особую роль в ощущениях сексуальных прикосновений? К сожалению, пока мы этого не знаем, поскольку до сих пор нет ни медикаментозных средств, ни генетических трюков, которые позволяли бы отдельно их активировать или деактивировать у людей или у лабораторных животных. Нам даже не известно, уникален ли путь электрических сигналов от этих зон к спинному или головному мозгу. Собственно, насколько я знаю, пока эти электрические сигналы даже не удалось записать изолированно. Просто поразительно, насколько мало мы знаем об этой, одной из важнейших структур, для человеческой жизни.[74]

[74] Как же проверить гипотезу о том, что генитальные концевые луковицы играют особую роль в ощущениях при сексуальных прикосновениях? Неплохо было бы найти способ записать электрические сигналы и определить, насколько их образование коррелирует с сексуальными ощущениями. Кроме того, нужен способ их избирательно деактивировать: каким-либо веществом, или созданным генной инженерией вирусом, или особой генетически модифицированной мышью. Также нужно уметь активировать их, не затрагивая при этом иные нервные пути на том же участке кожи. Один из способов добиться всего этого – попытаться найти ген, который избирательно проявляется в сенсорных нейронах, связанных с генитальными концевыми луковицами. Затем при помощи генетической инженерии взять регуляторную последовательность этого гена (так

Осязательные ощущения в области гениталий по пути к спинному, а затем и к головному мозгу проходят по трем различным нервам (рис. 4.3). Срамной нерв наиболее важен для сексуальных ощущений, поскольку он передает сигналы от клитора у женщин и от головки пениса у мужчин. Поскольку пенис и клитор развиваются из одного и того же недифференцированного участка эмбриональной ткани (который в конечном счете под влиянием половых гормонов обретает мужскую или женскую форму в самом начале развития плода), неудивительно, что через них проходит один и тот же сенсорный нерв.

Важно отметить, что один сенсорный нерв способен передавать информацию от нескольких различных участков паховой области. У женщин тазовый нерв передает осязательные сигналы от малых половых губ, стенок вагины, ануса и прямой кишки. У мужчин срамной нерв несет информацию от ануса и мошонки, а также пениса. У женщин ощущения в области шейки матки и самой матки могут передаваться по подчревному нерву, а затем по так называемому блуждающему нерву, который идет непосредственно к мозговому стволу, полностью минуя спинной мозг.

называемый промотор) и стимулировать выделение белков, которые активируют или подавляют сигналы в нейронах. Можно даже «пришить» этот промотор к гену, кодирующему белок, который испускает зеленое свечение, если нейрон активен. Тогда достаточно просто заснять на видео эти волокна генитальных концевых луковиц – и вы получите описание их деятельности в разных ситуациях.

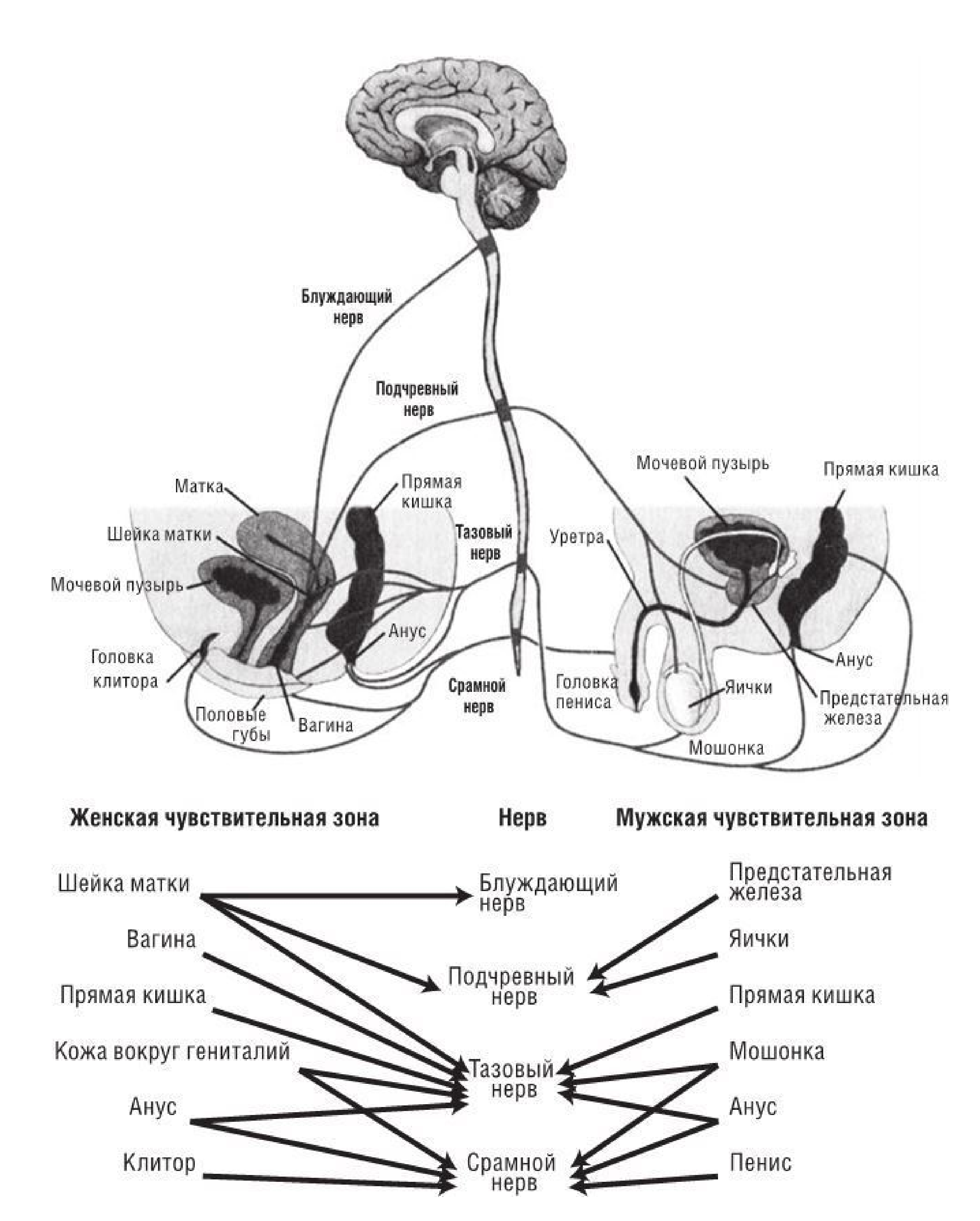


Рис. 4.3. Организация сенсорных нервов в тазовой области. Сенсорная информация из области таза переносится к мозгу тремя парами позвоночных нервов – срамным, тазовым и подчревным, – которые входят в спинной мозг на различной высоте. Ощущения от шейки матки и матки передаются и по так называемому блуждающему нерву, который входит непосредственно в мозговой ствол. Важно отметить, что даже один нерв может передавать информацию от различных источников на коже. Так, например, мужской срамной нерв отвечает за информацию от пениса, ануса и мошонки. © Джоан Тикко, 2013

Это схождение и расхождение осязательных сигналов из области таза имеет довольно важные последствия для секса и наших ощущений от него. Взаимное влияние расположенных рядом генитальных и перигенитальных областей позволяет объяснить, почему стимуля-

ция ануса, прямой кишки и промежности может вызвать сильнейшие сексуальные ощущения. Например, один житель Нидерландов признавался, что испытывал оргазм при каждой дефекации.

Диаграмма связей сенсорных нервов также помогает понять, как в некоторых случаях при повреждении спинного мозга могут сохраняться сексуальные ощущения. Травма, приводящая к полному рассечению спинного мозга в районе поясницы, на уровне второго поясничного позвонка, препятствует восприятию ощущений в области пениса и мошонки у мужчин и клитора и малых половых губ у женщин – органов, за которые отвечают срамной и тазовый нервы. Однако, поскольку сигналы от подчревного и блуждающего нервов продолжают поступать к головному мозгу, при таком повреждении спинного мозга остается возможность получения сексуальных ощущений в области шейки матки и самой матки у женщин и яичек и простаты у мужчин. И действительно, многие женщины с рассечением спинного мозга даже куда выше в позвоночном столбе – выше вхождения подчревного нерва – сообщают о получении сексуальных ощущений в области шейки и тела матки, которые, как предполагается, передаются через блуждающий нерв.[75]

Взглянув на схематические анатомические рисунки, такие как рисунок 4.3, легко решить, что схема передачи ощущений из тазовой области совершенно одинакова для любого мужчины и любой женщины. В самом широком смысле это действительно так. Почти каждый мужчина будет испытывать ощущения в области пениса, а почти каждая женщина – в области клитора; они передаются через срамной нерв. Но если внимательно посмотреть на ветвление нервов и распределение нервных окончаний у разных людей, сразу станут заметны индивидуальные различия. У одних женщин может быть несколько меньше генитальных концевых луковиц в наружной части клитора, но зато больше – в малых половых губах и анусе. У каких-то мужчин будет больше свободных нервных окончаний в простате и меньше – в мошонке.

Не определяются ли индивидуальные предпочтения в области секса тонкой структурой сенсорных нервов в генитальной и перигенитальной области? Специалисты в области анатомии рассматривают эту идею уже много лет.

В последние годы такую мысль высказала и писательница-феминистка Наоми Вульф. В своей книге *Vagina. New Biography* («Вагина. Новая история женской сексуальности») она заявляет, что вариативность расположения нервов может объяснять различия в сексуальных предпочтениях женщин:

> У некоторых женщин большинство нервных окончаний сосредоточено в области клитора, а в области вагины их не так много. Женщинам такого типа может нравиться долгая стимуляция клитора, а непосредственно от проникновения они не получают особого удовольствия. Другая категория женщин, наоборот, отличается высокой иннервацией влагалища, и им для того, чтобы испытать оргазм, достаточно только проникновения. У третьей категории женщин нервные окончания могут быть сосредоточены в промежности или в области ануса, и такие женщины могут не только любить анальный секс, но и достигать во время его оргазма, в то время как женщин с другим типом расположения нервных окончаний он может не только не возбуждать, но и причинять им боль. Кроме того, у некоторых женщин нервные окончания расположены ближе к поверхности, поэтому они не испытывают проблем с достижением оргазма, а другим женщинам, нервные окончания которых расположены глубже, а также их сексуальным партнерам приходится проявлять терпение и изобретательность, чтобы

[75] Стоит отметить, что гипотезу о том, будто блуждающий нерв переносит информацию о сексуальных прикосновениях от шейки матки и самой матки, специалисты до сих пор считают спорной.

> достичь кульминации. Культура и воспитание, безусловно, влияют на то, как вы достигаете оргазма и происходит ли это легко или с трудом, но это не основной фактор. Подобные рассуждения вызывают у миллионов женщин ненужное чувство вины и стыда или, наоборот, заставляют их чувствовать себя «извращенками». <…> Каковы бы ни были ваши сексуальные предпочтения, – вы… должны знать, что эти предпочтения могут быть обусловлены вашей физиологией.[76]

Это разумное предположение: сенсорные нервы в этой области тела действительно передают сексуальные ощущения, а в тонкой структуре этих нервов встречаются индивидуальные различия. Поэтому вполне вероятно, что незначительные отличия в строении нервов тазовой области хотя бы в какой-то степени лежат в основе индивидуальных различий в сексуальном опыте и предпочтений определенных техник полового акта. Но здесь можно выдвинуть некоторые возражения. Прежде всего, нет действительных *доказательств* того, что нормальное варьирование тонкой структуры генитальных сенсорных нервов отвечает за различия в сексуальных ощущениях или сексуальных предпочтениях. Анатомические вариации, о которых идет речь, не поддаются исследованию современных медицинских сканеров, и все знания, которыми мы обладаем о тонкой структуре соответствующих сенсорных нервов и их окончаний в коже и других тканях, – результат исследования трупов и образцов биопсии, которые мы вправе разрезать на кусочки и изучить под микроскопом, а не живых и невредимых здоровых людей, способных поделиться с нами своим сексуальным опытом.[77]

Сексуальные ощущения и сексуальное желание требуют постоянного диалога между телом (в основном гениталиями) и мозгом. Рассматривая потенциальные биологические причины индивидуальных различий в сексуальных предпочтениях, мы должны также учесть и вариативность зон мозга, активируемых при сексуальном осязательном контакте. Важно отметить, что как в коже, так и в мозге различия могут быть по природе не только структурными. Наиболее значимые индивидуальные различия бывают результатом электрических или химических сигнальных функций нейронов, которые необязательно связаны с изменениями в нейронных связях или форме нейронов. Различия в свойствах ионных каналов или нейромедиаторных рецепторов могут иметь значительное влияние на функционирование нейрона во время сексуальных прикосновений, но эти различия нельзя определить при анализе даже с помощью самого мощного микроскопа. Так что, читая заключительную фразу Вульф: «…эти предпочтения могут быть обусловлены вашей физиологией», нужно помнить, что главное в ней – это «могут быть», поскольку причинно-следственная связь остается недоказанной. Кроме того, и «физиология» – слишком общий термин: речь здесь не только о строении нервов в генитальной и перигенитальной зоне, но и о строении нейронов в соответствующей области мозга. К тому же нельзя упускать из виду индивидуальные вариации, которые изменяют элек-

[76] *Вульф Н.* Вагина. Новая история женской сексуальности / Перевод М. А. Рыбаковой. Здесь и далее цит. по: М.: Альпина нон-фикшен, 2014. – *Прим. ред.*

[77] Вульф также считает, что у женщин значительно больше индивидуальной вариативности в реакции сенсорных нервов генитальной области, чем у мужчин: «Такая сложность расположения нервных волокон, отвечающих за секс, у женщин обуславливается тем, что у нас есть органы, выполняющие как репродуктивные, так и сексуальные функции, такие как шейка матки и матка, которых нет у мужчин. Нервных волокон, которые идут от женской тазовой области в спинной мозг, гораздо больше, чем нервных волокон, соединяющих со спинным мозгом пенис».Да, сенсорная иннервация самого пениса гораздо слабее, чем всей области таза у женщин. Если же сравнить всю область таза у обоих полов, то, несмотря на важные и очевидные различия (у мужчин нет матки и вагины, у женщин – яичек, мошонки и простаты), общая сложность сенсорной нейронной сети отличается довольно незначительно. Более того, на мой взгляд, не существует доказательств того, что и вариативность в структуре сенсорных нервов у женщин выше как в генитальной, так и в перигенитальной области. Многие исследования показывают, что женщины действительно демонстрируют бóльшую вариативность в ответ на сексуальную стимуляцию, чем мужчины, но непонятно, насколько это можно приписать собственно иннервации области таза.

трические и химические сигналы от нейронов, при этом совершенно не меняя схему нейронных связей ни в мозге, ни в коже.[78]

Как происходит активация соматосенсорной коры головного мозга при генитальной стимуляции? Осязательные сигналы из области таза поступают в мозг различными путями – по позвоночнику и непосредственно по мозговому стволу, в зависимости от типа прикосновения (тонко дифференцированные прикосновения, ласки, температурный контакт и т. д.). Осязательные сигналы из области таза, как и других областей организма, образуют связи в таламусе и поступают в новую кору мозга, где отображаются на карте тела в первичной соматосенсорной коре (рис. 2.8). Как мы уже говорили, гениталии занимают довольно скромное место на карте мозга, поскольку плотность механорецепторов на них довольно низкая. Барри Комисарук и его коллеги по Ратгерскому университету провели сканирование мозга женщин, которым выдавали ручной вибратор для самостимуляции разных паховых зон – клитора, вагины, шейки матки. При исследовании алгоритмов активации первичной соматосенсорной коры выяснилось, что каждая из этих трех паховых зон воздействует на отдельный участок ткани мозга, но эти участки лежат рядом друг с другом, а в некоторых случаях частично перекрываются (рис. 4.4). Важно отметить, что, в соответствии с картами Пенфилда, полученными при прямой стимуляции мозга, размер и местоположение этих участков разнятся у разных людей.

Зависит ли их размер от индивидуальных различий в тонкой структуре сенсорных нервных окончаний в области таза? Если у женщины необычайно плотная сенсорная иннервация стенок вагины, а у мужчины – особенно плотная иннервация мошонки, будут ли эти зоны увеличены на осязательной карте? А как насчет влияния опыта? Если человек регулярно практикует анальный секс, увеличится ли отображение в коре мозга ануса и прямой кишки точно так же, как ежедневная игра на скрипке увеличивает отображение руки, перебирающей струны? Эти вопросы все еще предстоит решить.

В соответствии с классической осязательной картой Пенфилда (рис. 2.8), стимулирование женских гениталий активировало зону, отдаленную от сопредельного участка карты, неподалеку от зоны, отвечающей за пальцы ног. Но, присмотревшись к рис. 4.4, можно также заметить соседние и даже частично перекрывающиеся активируемые участки именно там, где этого и следует ожидать: в области проекции промежности, на пересечении проекций бедер и живота. Почему же женские гениталии представлены на карте дважды в разных местах? И это, как выяснилось, не чисто женский феномен: то же характерно и для мужчин. Рис. 4.4 показывает активацию обоих участков, но авторы исследования утверждают, что реально активируются только участки рядом с зоной пальцев ног, а участки проекций паховой области возбуждаются только из-за случайной активации соседних тканей, окружающих гениталии.[79]

---

[78] Вульф верно утверждает, что «культура и воспитание» играют значительную роль в индивидуальном сексуальном опыте и предпочтениях человека, а затем сравнивает эти влияния с «физическими реакциями». Нужно отметить, что культура, воспитание и эти самые физические реакции – не вполне независимые друг от друга феномены. Нельзя сказать, что физические реакции обусловлены только геномом, а культура и воспитание – жизненным опытом и факторы эти никогда не взаимодействуют. Как мы уже говорили, жизненный опыт – от внимания матери к новорожденному до интенсивной практики игры на музыкальных инструментах – может вызывать долгосрочные изменения в тонкой структуре и клеточной функции как мозга, так и всего организма. Иными словами, воспитание действует через природу.

[79] Некоторые исследователи обнаружили, что, как у мужчин, так и у женщин, генитальная стимуляция активирует только паховую область на осязательной карте; другие отметили, что активируется лишь отдельная зона рядом с пальцами ног; третьи свидетельствуют о возбуждении обеих областей. Это предмет непрекращающихся споров в научной литературе. В экспериментах, призванных картографировать сенсорную репрезентацию гениталий в мозге, использовалось много различных техник. В некоторых стимуляция проводилась небольшим вибратором или электрическим стимулятором, который контролировал экспериментатор. В других случаях применялась автостимуляция фаллоимитатором. Картографирование мозга также осуществлялось разными методами: от ЭЭГ, обладающей хорошим временным, но плохим пространственным разрешением, до функциональной МРТ, для которой характерны умеренное пространственное и плохое временное разрешение. Остальные методы тоже имеют свои достоинства и недостатки.

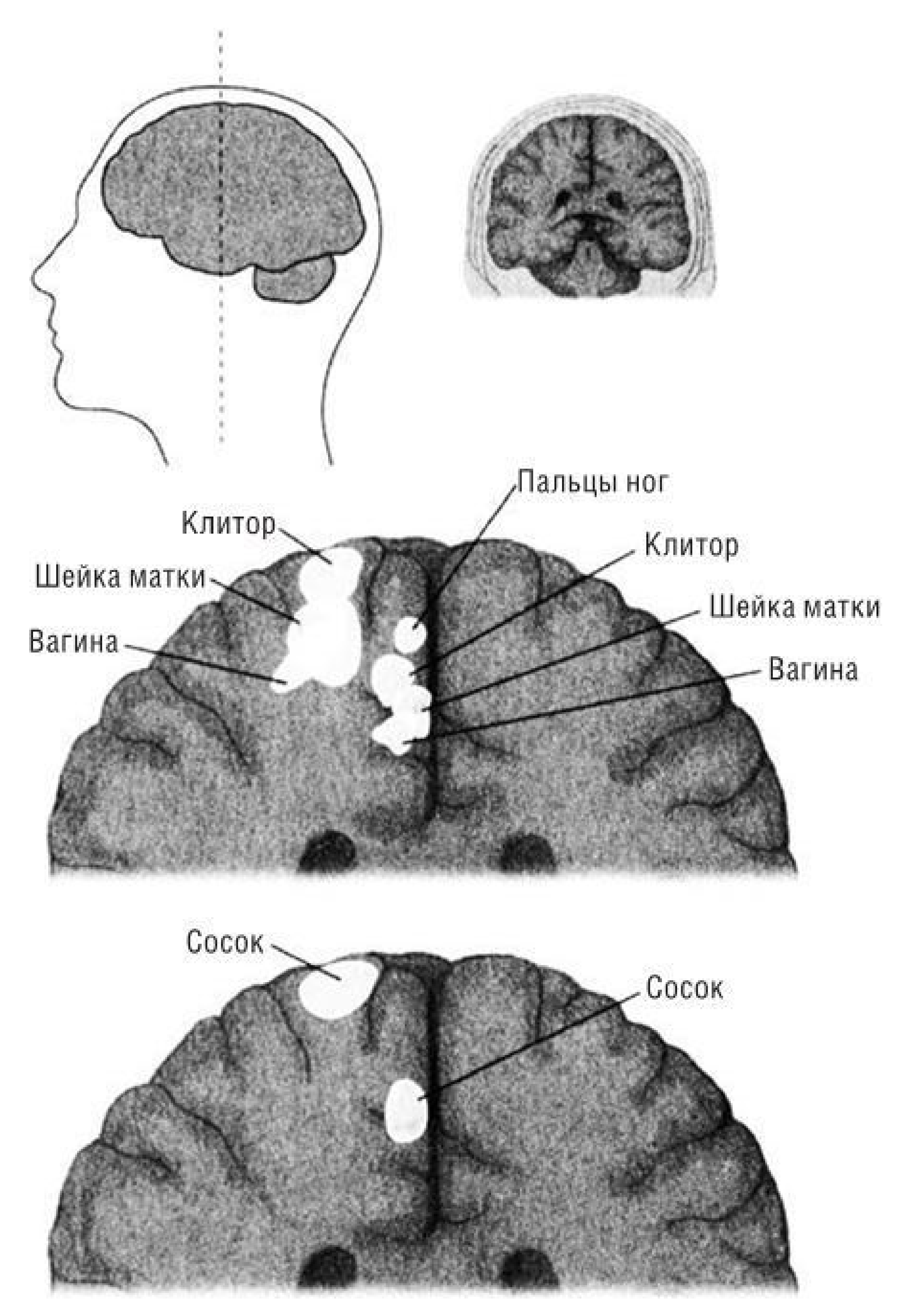


Рис. 4.4. Использование сканера мозга для картографирования участков соматосенсорной коры, активируемой при автостимуляции клитора, вагины, шейки матки, пальцев ног и сосков. Заметим, что стимуляция сосков вызвала реакцию, перекрывающуюся с реакцией при стимулировании клитора, вагины и шейки матки. Это позволяет объяснить существенную роль сосков в сексуальных ощущениях женщин. Пока что такой же эксперимент на мужчи-

нах поставлен не был. Нужно также помнить, что при помощи вибратора нельзя стимулировать каждую область гениталий по отдельности. Стимуляция вагины естественным образом активирует основание клитора, которое находится у передней стенки вагины; стимуляция шейки матки подразумевает определенную стимуляцию вагины и клитора; все эти формы генитальной стимуляции влекут за собой определенную стимуляцию малых половых губ и промежности. Адаптировано по: Komisaruk B. R., Wise N., Frangis E., Liu W.-C., Allen K., Brody S. Women's clitoris, vagina, and cervix mapped on the sensory cortex: fMRI evidence // Journal of Sexual Medicine 8. 2011. 2822–2830, с разрешения издательства Wiley

Интересно, что, когда женщины – участницы эксперимента стимулировали соски, на сканере мозга также отражались две отдельные зоны активации: одна – в грудной зоне осязательной карты, а вторая – совсем в другом месте. Собственно говоря, участок, активируемый при стимуляции сосков, во многом совпадал с участками, возбуждаемыми стимуляцией клитора, вагины и шейки матки. Это позволяет объяснить, почему многие женщины считают стимуляцию сосков сексуально возбуждающей. Возникает вопрос, действительно ли эта зона первичной соматосенсорной коры (она называется мезиальной поверхностью задней центральной извилины) играет особую роль при сексуальных прикосновениях.[80] Если бы вам предложили посмотреть под микроскопом препарат мозговой ткани умершего человека, вы не нашли бы там ничего необычного. Индивидуальные нейроны и нейроглиальные клетки, а также их общая слоистая структура выглядят примерно так же, как и в зонах обработки соматосенсорной информации от куда менее эротичных частей тела. Не исключено, что эта зона имеет необычайно сильные связи с другими участками мозга, отвечающими за удовольствие и страх, но пока этот вопрос исследован недостаточно.

Когда я учился в четвертом классе, со мной за партой сидел мальчик по имени Ральф. В десять лет было уже очевидно, что он кончит тюрьмой. Ральф дрался со всеми подряд. Он любил шариковой ручкой выводить на своей грязной руке неуклюжие изображения мотоциклов, а еще у него постоянно текло из носа – неудивительно, ведь он никогда не сморкался. Однажды ни с того ни с сего он повернулся ко мне и спросил: «Знаешь, как девчонки залетают? Они снимают трусы *(хлюп носом)*, и мальчишки снимают трусы *(хлюп носом)*, и они трутся друг о друга задницами. И тогда у девчонки получается пузо». В то время я не слишком разбирался в подробностях сексуальной жизни, но уже понимал, что это описание не слишком похоже на правду. Ральф продолжал сексуальное просвещение: «А знаешь, что такое стояк? Когда ты думаешь о голой женщине *(хлюп)*, у тебя член становится твердым, это и есть стояк». Это разъяснение тоже показалось мне подозрительным. Стояк, насколько я понимал, – вещь вполне конкретная, осязаемая, в то время как мысли – хоть о голых женщинах, хоть о чем-то еще – явно не принадлежат физическому миру, они легкие и текучие. Как одно соотносится с другим? Это ведь совершенно разные вещи! Его объяснение попахивало мистикой, хуже того – суевериями.

– Да ну, – переспросил я.

– Ну да, – подтвердил Ральф.

Представьте себе, что вы идете по Уэверли-плейс в Уэст-Виллидж в Нью-Йорке. Вы хотите есть и немного устали. И тут мимо проходит человек с фалафелем в руках, а фалафель – одно из ваших любимых блюд. Осмотревшись, вы видите, откуда взялся фалафель – из

---

[80] То, что ступни, соски и гениталии активируют близкие друг к другу участки первичной соматосенсорной коры, привело некоторых специалистов к выводу о том, что взаимное влияние этих зон способно объяснить частую фетишизацию стоп в сексуальном поведении. Пока нет доказательств, подтверждающих или опровергающих эту гипотезу, но стоит отметить, что судорожная активность, захватывающая зону стоп на карте, в срединной зоне восходящей теменной извилины, могут вызывать у женщин ощущения в сосках, малых половых губах и стопах.

небольшого, вечно переполненного ресторана *Таїт*. Вы уже почуяли дивный аромат жареных нутовых шариков, хариссы и тахинного соуса, и у вас текут слюнки. Вы заходите и заказываете сэндвич с фалафелем. Через несколько минут вы наконец откусываете первый кусок, и он великолепен. Вы кусаете снова и снова, и, так как сэндвич большой, постепенно начинаете наедаться. Последний кусок все еще вкусный, но уже совсем не такой, как первый. Сейчас вы сыты и едва ли собираетесь что-то есть в ближайшее время. Если, конечно, на Принс-сквер не попадется хороший сорбет.

Если мы, как настоящие «ботаники», решим отобразить этот праздник вкуса на диаграмме (удовольствие на оси *y*, время на оси *x*), он будет выглядеть примерно как на рис. 4.5. В начальной стадии вид и запах пищи взаимодействуют с вашим состоянием (голод) и порождают желание. В этот момент вы уже испытываете определенное удовольствие, а в предвкушении большего начинает выделяться слюна. Важно отметить, что это желание отражает как безусловные, так и условные рефлексы. Мы, люди, не можем не реагировать на определенные запахи пищи, в том числе те, которые присутствуют в жареных блюдах вроде фалафеля. К тому же наши реакции во многом зависят от опыта. Вы знаете, что любите фалафель; вы уже бывали в этом ресторане, и вам понравилось. (Напротив, если в прошлый раз вы съели фалафель и вас замутило, почти наверняка его запах и вид не вызовут никакого аппетита, даже если вы проголодались.)

Затем следует процесс потребления, на который приходится пик удовольствия. Первый кусок вызывает резкий прилив удовольствия, но с каждым последующим куском оно слабеет. Частично это связано с тем, что вы привыкаете к запаху, вкусу и ощущениям во рту. Первый кусок полон новизны, а следующие дают все более знакомые ощущения. Несколько позже вы начинаете реагировать на смесь сознательных и подсознательных сигналов организма, свидетельствующих о том, что ваш желудок увеличился в размере, а уровень питательных веществ в крови повысился. На подходе – фаза насыщения, когда вы едва ли захотите съесть еще один фалафель, но, возможно, не прочь будете отведать что-то новое – например, стаканчик фруктового сорбета.

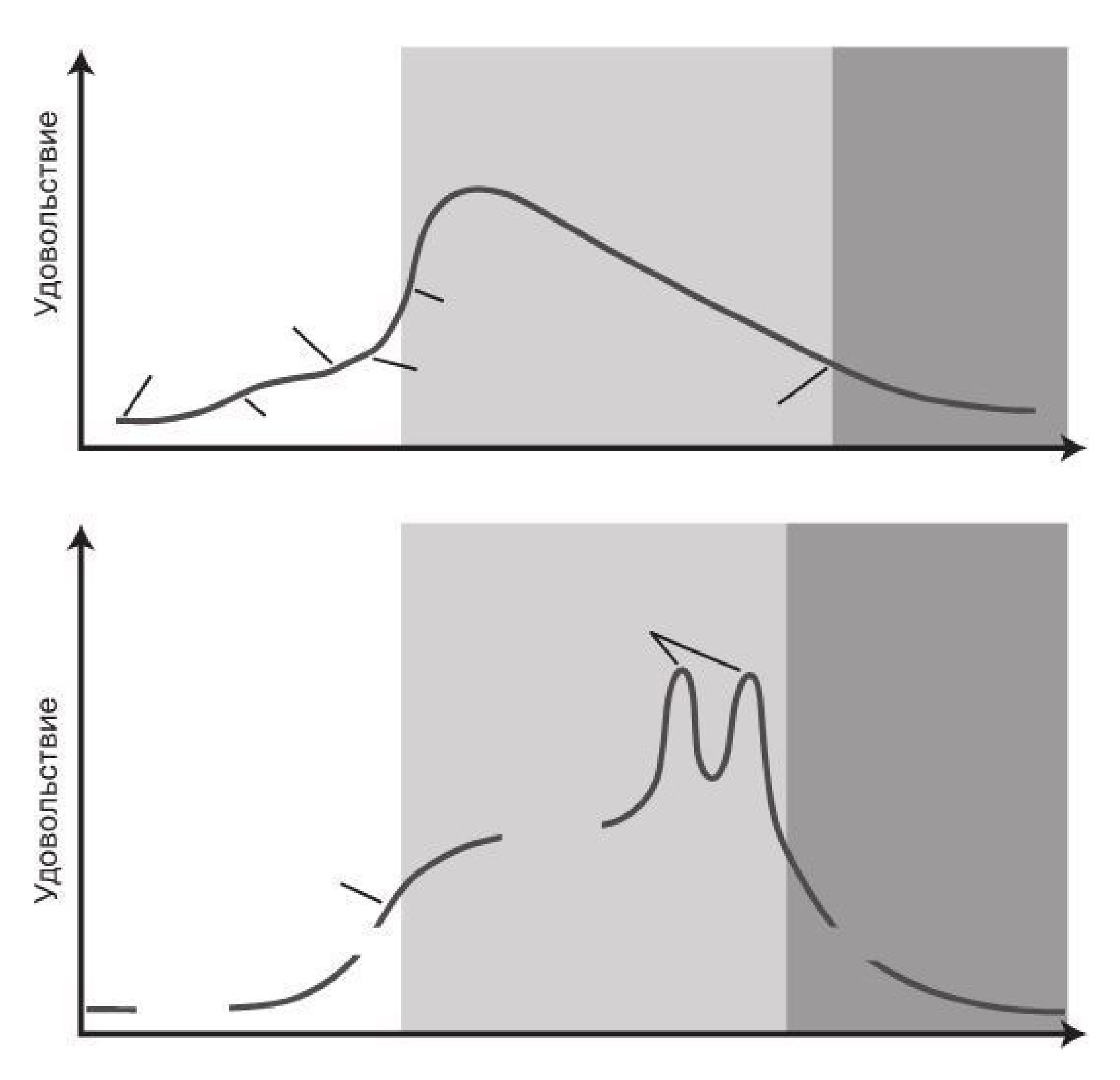


Рис. 4.5. Графики удовольствия при поглощении пищи и сексе демонстрируют некоторые общие закономерности. Рисунки с небольшими дополнениями и изменениями позаимствованы из: Georgiadis J. R., Kringelbach M. I., Pfaus J. G. Sex for fun: a synthesis of human and animal neurobiology // Nature Reviews Urology 9. 2012. 486–498, публикуется с разрешения Nature Publishing Group

Я отклонился от темы в сторону еды умышленно: чтобы показать, что сексуальная активность – не какая-то исключительная форма человеческой деятельности. Хотя определенные уникальные черты у нее есть, во многих отношениях она не так уж отличается от других удовольствий – в частности, от еды. Представьте себе аналогичную ситуацию в сексе. Здесь я приведу пример с двумя женщинами, но пол участников не имеет особого значения. Предположим, что у вас вскоре начнется овуляция, а в это время цикла сексуальное желание обычно сильнее всего. Вы настроены энергично и игриво, лежите на диване и листаете газету. Ваша возлюбленная входит в комнату. Она выглядит прекрасно – полна сил и слегка разгорячена физическими упражнениями. Она склоняется, чтобы вас поцеловать, и вы вдыхаете запах ее тела и волос, ее губы прижимаются к вашим. Вы уже ощущаете возбуждение и чувствуете ее отклик. Вагина увлажняется, мышцы расслабляются, вы продолжается целоваться и ласкать друг друга. Одежда летит на пол, и вы видите ее тело. И тут все начинается по-настоящему: поцелуи, ласки, вылизывания во всех местах, в особенности в генитальной и перигенитальной зоне. Медленно нарастает напряжение, которое в итоге сменяется оргазмом – одним или несколькими. После этого вы расслабленно лежите, предаетесь приятным воспоминаниям и

вряд ли готовы немедленно вновь заняться сексом, если только не произойдет нечто необычное – например, ваша возлюбленная предложит что-то новенькое: вы всегда хотели это попробовать, но как-то не складывалось.

График удовольствия для этого акта показан на рис. 4.5 снизу от графика фалафеля. Сходство очевидно. В обоих случаях внутреннее состояние (голод или обострение сексуальной восприимчивости во время овуляции) заставляет вас реагировать на привлекательные запахи, звуки и зрительные картины. В обоих случаях нарастающее желание в этой фазе определяется как безусловными рефлексами, так и предыдущим опытом. (Возможно, вы вспоминаете предыдущий приятный половой акт.) И это возрастающее желание сопровождается неконтролируемыми изменениями в организме (слюноотделение, увлажнение вагины).

В процессуальной фазе на графиках уже видны расхождения. Обычно при приеме пищи наибольшее удовольствие доставляет первый кусок – в отличие от первого прикосновения в сексе. Чаще всего удовольствие нарастает и завершается оргазмом, который и становится наиболее приятным моментом. Кроме того, в сексе больше индивидуальных вариаций: одни достигают оргазма быстро, другие – медленнее или вообще его не получают.[81] У одних оргазм наступает один раз за акт, у других – несколько. Как мы уже говорили, спектр индивидуальных сексуальных предпочтений велик и, разумеется, не исчерпывается чисто осязательными моментами. Кроме того, конечно, и еда, и секс порождают чувство насыщения, преодолеть которое при определенных условиях – чаще всего это новизна.

Так что тот мальчишка Ральф был прав: одни только мысли о сексе уже способны подготовить гениталии к сексуальной активности. Но этим дело не исчерпывается. Эрекция пениса и смазка вагины могут появиться как в результате сигналов от мозга о мыслях о сексе, так и после осязательных контактов в генитальной или перигенитальной зоне. Чаще всего при сексе как с партнером, так и в одиночку мысли о сексе и прикосновения к гениталиям сопутствуют друг другу, те и другие способствуют подготовке гениталий к сексуальному отклику. Так бывает не всегда: если повреждение спинного мозга привело к нарушению работы нервов, идущих от головного мозга к гениталиям, мысли о сексе не вызовут ни эрекции, ни увлажнения. Но если сенсорные нейронные пути из генитальной или перигенитальной зоны к спинному мозгу не повреждены, то эрекцию или увлажнение можно вызвать прикосновениями к гениталиям. При этом сами прикосновения могут и не ощущаться из-за того, что поврежденные волокна спинного мозга не передают тактильную информацию в головной мозг.

Генитальный отклик у мужчин и женщин происходит очень по-разному. У мужчин эрекция наступает в основном при сексуальном возбуждении или прямой стимуляции гениталий (иногда не имеющей сексуального характера – например, случайные касания одежды). Когда же женщин снабдили датчиком размером с гигиенический тампон, измеряющим степень увлажнения вагины, выяснилось, что это увлажнение нередко происходит в ответ на сенсорные стимулы, которые сами респондентки не считают сексуально возбуждающими.

Как показало одно исследование, большинство гетеросексуальных женщин испытывают увлажнение при просмотре видео с сексом двух мужчин (или даже двух бонобо), хотя утверждают, что оно их не возбуждает. Точно так же большинство лесбиянок испытывают увлажнение при просмотре гетеросексуального секса или секса между двумя мужчинами, хотя опять же утверждают, что возбуждения не ощущают. При этом я, разумеется, не считаю, что гетеросексуальных женщин вообще не должен возбуждать однополый секс или даже секс двух бонобо.

---

[81] Действительно, представление о взаимодействии пениса и вагины без мужского оргазма имеет долгую историю во многих культурах. В европейской традиции оно называется *coitus reservatus*, а в даосской – *cai yin pu yang*. Это переводится как «сбор и впитывание мужчиной женской сущности» (yin – инь). Сходна и практика *karezza*, при которой взаимодействие половых органов контролируется, чтобы довести мужчину и женщину до одновременного предоргазменного состояния. Ее считают способом достижения мистического сексуального экстаза.

Определенно существуют и лесбиянки, которых сексуально возбуждает просмотр гей-порно и гетеросексуальных половых актов. Но в целом мужчины – геи, гетеросексуалы, бисексуалы – испытывают эрекцию только в ответ на такие стимулы или мысли, которые сами находят возбуждающими, а у женщин с любыми сексуальными предпочтениями увлажнение происходит в ответ на гораздо более широкий спектр сексуальных стимулов, в том числе и тех, которые они сами ни за что не отнесли бы к возбуждающим. Сексологи Мередит Чиверс и Эллен Лаан высказали предположение, что вагинальное увлажнение в ответ на более широкий спектр сексуальных стимулов – адаптивная реакция на ситуации, в которых обычный вагинальный секс проходит слишком быстро или насильственно: смазка снижает возможность повреждения вагины или занесения инфекции. Ученые считают, что эта способность у женщин появилась в начале эволюционной истории человека.

И мужчины, и женщины бывают подвержены генитальным откликам при отсутствии сексуального желания. У мужчин состояние, при котором эрекция длится часами и даже сутками и не отступает при оргазме, называется приапизмом. Оно может быть побочным эффектом при многих заболеваниях: лейкемии, серповидно-клеточной анемии и тазовых опухолях. Также приапизм связывают с действием многих препаратов – как терапевтических (некоторые антидепрессанты, средства для разжижения крови, а также медикаменты для лечения эректильной дисфункции), так и наркотических (кокаин и амфетамины). Хотя постоянная эрекция при приапизме болезненна, она обычно не вызывает сильного желания стимулировать пенис и достичь оргазма.

Как и приапизм, синдром постоянного сексуального возбуждения (СПСВ) у женщин вызывает прилив крови к области гениталий, постоянное увлажнение вагины и разбухание половых губ и клитора. В отличие от приапизма этот синдром связан с тактильной гиперчувствительностью. Безобидные стимулы, такие как движение складок одежды или вибрации при поездке на машине, способны вызвать в области таза возбуждение, близкое к оргазму. Самое неприятное, что СПСВ часто приводит к сильной и совершенно нежелательной потребности мастурбировать (или добиваться оргазма иным образом). Это не связано с увеличением сексуального желания, а больше напоминает жуткий зуд, от которого никак не избавиться. Оргазм приносит лишь кратковременное облегчение. Страдающие СПСВ не получают удовольствия от возбуждения или секса. Их реакция варьирует от обычного смущения (почти наверняка случаев СПСВ больше, чем сообщается) до глубоких переживаний из-за неспособности поддерживать нормальные социальные отношения, заботиться о детях или нормально работать. В некоторых особо тяжелых случаях женщины с этим синдромом не в состоянии выйти из дома, где постоянно мастурбируют. Известны и случаи самоубийства: так, Гретхен Моланнен покончила с собой в своем доме в Спринг-Хилле, штат Флорида, в возрасте тридцати девяти лет после шестнадцати лет невыносимых страданий из-за СПСВ. За несколько месяцев до смерти она описала свою повседневную жизнь в интервью газете *Tampa Bay Times:*

> Возбуждение не уходит. Оно не сдается. Его нельзя облегчить. Один оргазм сразу же вызывает нестерпимо сильное возбуждение, как будто ты уже готова к следующему. Так что приходится просто продолжать в том же духе. Однажды, когда мне было особенно плохо, их было 50 подряд. Я не могла остановиться, даже чтобы глотнуть воды. И это так больно. Ты вся в поту. Болит каждый сантиметр тела. Сердце готово выскочить из груди… Ты должна не обращать на это внимания, Гретхен. У ТЕБЯ НЕТ ВЫБОРА. ОСТАНОВИСЬ. Просто дай своему телу успокоиться. Да я пробовала уже много раз. Я даже доходила до ванной и принимала душ. Казалось, все кончилось. Теперь пора помыться и расслабиться. Но тут я смотрелась в зеркало – и все начиналось снова. Я просто падала на пол и плакала. Мужчины этого не понимают. Им все равно, они даже думают, что это круто… Когда я

> описываю свое состояние мужчинам, я говорю им: «Представьте себе, что у вас эрекция, от которой нельзя избавиться – она преследует вас весь день, всю ночь, сколько бы раз вы ни пытались ее унять, – даже если вы всю кожу себе на пенисе сотрете».

О причинах развития СПСВ не существует единого мнения. В некоторых случаях его вызывает защемление срамного или тазового нервов (или одного из их отростков) – тогда помогает хирургическое вмешательство. У других он спровоцирован проблемами с сосудами, подающими кровь в область таза. Формирующееся у многих женщин в среднем возрасте новообразование на дорсальных корешковых ганглиях – так называемая киста Тарлова – тоже может быть причиной синдрома. Некоторые психоневрологические медикаменты, как предполагается, усиливают СПСВ, а другие, по некоторым сообщениям, его облегчают, но научные публикации на эту тему выглядят отрывочно и путанно. Иногда СПСВ сопутствует синдром беспокойных ног, – состояние, когда в ногах (реже в руках) развивается зуд, требующий постоянно ими шевелить, – и природа которого пока также малопонятна. Мы не можем точно сказать, связан ли СПСВ с изменениями в нервных окончаниях на коже в области гениталий. Мозговая деятельность женщин, которые испытывают потребность постоянно искать оргазма из-за СПСВ, также пока не изучена.

Порой самые банальные вещи не поддаются описанию. В этой связи давайте зададимся вопросом: что же такое оргазм? С физиологической точки зрения оргазм у мужчин и женщин связан с повышением кровяного давления, непроизвольными мышечными сокращениями как в области таза, так и в других местах, учащением пульса и острым ощущением удовольствия, за которым следует удовлетворение. Впрочем, это довольно сухое клиническое описание, которому недостает поэзии. Джон Моуни, психиатр из Университета Джона Хопкинса, один из пионеров сексологии, в переписке с коллегами сумел, на наш взгляд, прекрасно сочетать биологическое и трансцендентное в определении оргазма: «Высшая точка сексуально-эротического опыта, который мужчины и женщины субъективно характеризуют как чувственный восторг или экстаз. Оргазм происходит одновременно и в головном мозге (в сознании), и в гениталиях, находящихся в паховой области».[82] Описание Моуни подчеркивает несколько важных положений. Во-первых, оргазм уникален: это не просто более интенсивная форма осязательного ощущения, но нечто качественно иное. Во-вторых, наиболее надежный и типичный способ достижения оргазма – передача сигналов о генитальной стимуляции через сенсорные нервы в спинной и головной мозг. В-третьих, оргазм происходит в головном мозге, а не в гениталиях.

Могут ли оргазмы происходить без участия гениталий? Да. Некоторым удается достичь оргазма, стимулируя органы, расположенные вовсе не в области таза: соски, шею, рот, а также такие, казалось бы, не связанные с эротикой части тела, как нос и колени.[83] Ну и конечно, и мужчины, и женщины могут получать оргазм при стимулировании прямой кишки, но это, вероятно, связано с перекрестными помехами в сигналах из генитальной и перигенитальной областей, о чем мы уже говорили (рис. 4.3). В редких случаях удается обойтись вообще без прикосновений. Некоторые люди, судя по всему, в состоянии испытать оргазм от одной мысли или с помощью дыхательных практик. Конечно, как известно, оргазмы случаются и во сне, даже когда зона гениталий не соприкасается с постельным бельем. Люди с полным поврежде-

---

[82] Весь этот восторг и экстаз привел к тому, что оргазм стал привлекать внимание церковных властей. С одной стороны, оргазм считается здоровым и жизнеутверждающим явлением. С другой, по крайней мере для мужчин, оргазм рассматривается как ослабление, приводящее к утрате мужской сущности и естества. В 1910 году Хэвилок Эллис сообщал о таких рекомендациях относительно частоты мужского оргазма (о женском оргазме речь не шла): индуизм – три-шесть раз в месяц; Мартин Лютер – дважды в неделю; Коран – раз в неделю; Талмуд – от раза в день до раза в неделю в зависимости от рода занятий.

[83] Некоторые способны испытать оргазм даже во время объятий, причем будучи полностью одетыми. Так уж они устроены.

нием спинного мозга, вообще не ощущающие область таза, сообщают об испытанных во сне оргазмах, происходящих будто бы в гениталиях.

Группу мужчин и женщин попросили описать свои оргазмы в одном абзаце. Затем эти описания были отредактированы: из них убрали все слова (например, «пенис» или «вагина»), которые позволили бы понять, какого пола автор текста. Когда отредактированные абзацы представили для анализа экспертам (которыми были студенты-медики, психологи и гинекологи), те не сумели отличить описания мужских оргазмов от женских. Однако между ними есть некоторые важные различия. Женские оргазмы в среднем, как выяснилось при измерении датчиком, отслеживающим непроизвольные сокращения ректальных мышц, длятся немного дольше, чем мужские (примерно 25 и 15 секунд соответственно). Кроме того, женщины гораздо чаще достигают оргазма более чем однажды во время одного полового акта.

Зигмунд Фрейд заявлял, что, если молодая девушка может испытать оргазма при стимуляции клитора, взрослая женщина достигает его только при стимулировании вагины. Это замечание он не основывал на каких-то анатомических или физиологических данных, не проводил исследований вагины, клитора или находящихся в них нервов. Ему требовалось создать теорию, согласно которой проникновение мужского пениса играло бы ключевую роль в сексуальном насыщении женщины. Но сами-то женщины прекрасно знают, что для большинства из них, какого бы возраста они ни были, стимуляция внешнего клитора, как при мастурбации, так и при половом контакте с партнером, – как раз самый надежный способ добиться оргазма.

Это неудивительно: как мы уже говорили, более высокая плотность свободных нервных окончаний и генитальных концевых луковиц в наружной части клитора соответствует его исключительной роли в сексуальных ощущениях.

Много лет спустя высказанные Фрейдом идеи подверглись ожесточенной критике, достигшей пика после публикации эссе исследовательницы-феминистки Анне Кёдт *The Myth of the Vaginal Orgasm* («Миф о вагинальном оргазме»). Затем маятник качнулся в обратную сторону. Кёдт и другие настаивали на том, что клитор – единственный орган, способный передавать сексуальные ощущения у женщин и тем самым вызывать оргазм. Кёдт цитировала одного из пионеров сексологии Альфреда Кинси, который утверждал, что «[вагина,] как и другие внутренние органы, недостаточно оснащена осязательными рецепторами». Но это неправда. Хотя иннервация вагинальных стенок и шейки матки гораздо ниже, чем наружной части клитора, из этих областей поступает значительное количество сенсорной информации. Выборочная стимуляция вагинальных стенок и шейки матки (а также половых губ, промежности, ануса и прямой кишки) может вызвать достаточно острые ощущения, а также локализованную активацию соматосенсорной коры головного мозга (рис. 4.4). К тому же сейчас мы уже стали лучше понимать анатомию клитора. Наружная часть клитора – часть его головки – это всего лишь «вершина айсберга». Внутренние части клитора имеют дугообразную форму и состоят из двух луковиц, в которые заключены также уретра и передняя стенка вагины (рис. 4.6). Поэтому стимуляция передней стенки вагины (со стороны живота) способна активировать сенсорные нервные окончания в луковицах клитора.[84]

Вероятно, самым четким свидетельством возможности чисто вагинального оргазма, никак не связанного со стимуляцией клитора, стали исследования женщин с полным разрывом позвоночного канала. У этих женщин осязательные сигналы, идущие от клитора (как внешней, так и внутренней части) по срамному нерву, не достигают головного мозга и, как следствие, не воспринимаются. Тем не менее некоторые из них испытывают оргазм (что подтверждается

[84] Еще одна структура на передней вагинальной стенке – это знаменитая «точка G», которая, как считается, играет особую роль в сексуальных ощущениях у женщин. На данный момент вопрос о том, действительно ли точка G является подлинной анатомической сущностью, остается спорным. Так, анализ соответствующих тканей у трупов привел исследователей к различным результатам.

сканированием мозга) благодаря стимуляции шейки матки – по всей вероятности, при помощи сохранившегося блуждающего нерва, идущего непосредственно в головной мозг (рис. 4.3). Это открытие – весомый аргумент в пользу существования сексуальных ощущений, идущих непосредственно от шейки матки, что, впрочем, никак не помогает ответить на вопрос о роли этих ощущений в оргазме здоровых женщин.

Хотя существование вагинального оргазма как уникального физиологического феномена, не связанного со стимуляцией клитора, остается предметом дискуссий, кое-что уже ясно. Клитор через срамной нерв играет особую роль в наступлении оргазма, и наиболее надежный способ достичь оргазма – стимуляция наружной части клитора, где наблюдается наивысшая плотность сенсорных нервов. Проникновение в вагину фаллоимитатором, стимулирование руками или традиционный секс могут активировать тактильные рецепроты в основании клитора через вагинальную стенку. Они могут также активировать рецепторы и в самой вагинальной стенке, а также в шейке матки, и эти сигналы передаются в спинной мозг по различным сенсорным нервам – тазовому, подчревному и блуждающему. Эти нервы переносят сигналы и из перигенитальных областей – промежности, прямой кишки, ануса. В организме могут быть задействованы любые подобные сигналы.

Головка клитора
Уретральное отверстие
Малые половые губы
Вагинальное отверстие
Большие половые губы

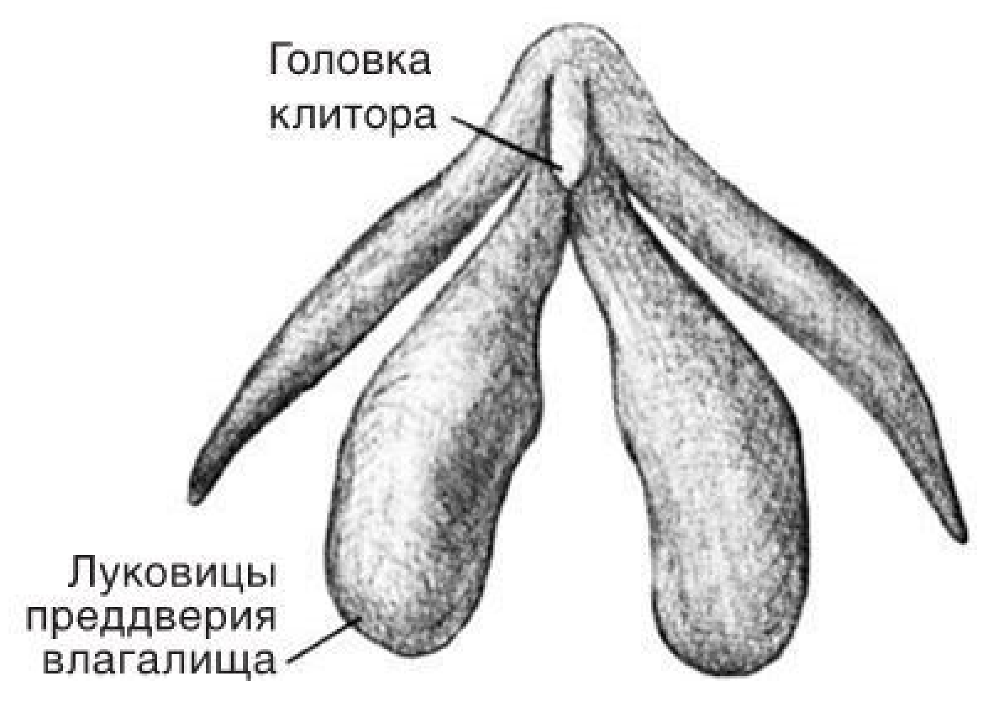


Рис. 4.6. Анатомия клитора относительно уретры и вагины. Вверху: наружная часть клитора (головка клитора) – небольшая часть общей структуры, показанной более темным цветом. Важно отметить, что основание клитора расположено рядом с передней стенкой вагины. Внизу: очертания клитора полностью, другие органы с рисунка удалены, чтобы точнее передать форму. При хроническом воспалительном заболевании кожи – склероатрофическом лишае – капюшон клитора иногда соединяется с окружающими его малыми губами и полностью закрывает наружную часть клитора (подобное же срастание половых губ может полностью или частично закрывать вагинальное отверстие). Но даже если внешний клитор слишком сильно покрыт кожей, у большинства женщин со склероатрофическим лишаем все еще остается возможность достичь оргазма посредством непрямой стимуляции клитора. © 2013 Джоан Тикко

Разные женщины описывают оргазм по-разному. У одних все оргазмы более или менее похожи, другие же отмечают качественные различия оргазмов (он точечный или разлитой, судорожный или вибрирующий) в зависимости от конкретных подробностей сексуального стимулирования (например, с проникновением или без, с сопутствующими ласками груди или без них). Конечно, когнитивный фактор и общий опыт тоже имеет значение. В колледже я был знаком с женщиной, которая утверждала, что достигает оргазма только с мужчиной, одетым в майку в сеточку. Маловероятно, чтобы эти эротические пожелания объяснялись структурой нервных окончаний ее кожи. Даже самый беглый интернет-серфинг без труда поможет составить бесконечно длинный перечень условий для оргазма как у мужчин, так и у женщин: фантазии, ролевые игры, костюмы и т. д. В основном все это не имеет никакого отношения к осязательным ощущениям.

По сообщениям мужчин, в целом они достигают оргазма с большей гарантией, чем женщины, – как при мастурбации, так и при сексе с партнерами. Это привело к популярному представлению о том, что, если женщины испытывают сложное сочетание сексуальных ощущений от разных зон тазовой области, полнота сексуальных ощущений мужчин неизменна и полностью зависит от пениса. Это неверно. Как наружная часть клитора играет особую роль в оргазме у женщин, так и пенис, особенно гладкая кожа головки, в наибольшей мере способствует наступлению оргазма у мужчин, но и роль других зон тазовой области также нельзя отрицать. После полного удаления простаты эрекция, контроль над мочеиспусканием и способность к оргазмам в лучшем случае сохраняются, но эякуляции не происходит – все оргазмы «сухие».[85]

Недавно было проведено небольшое исследование, в котором все мужчины, подвергшиеся полному удалению простаты, но сохранившие способность к достижению оргазма, сообщили, что больше не испытывают удивительного ощущения неизбежности – состояния «точки невозврата», которое предшествует оргазму. Сигналы из мошонки, яичек, промежности, ануса и прямой кишки тоже участвуют в формировании мужского оргазма и могут влиять как на время его наступления, так и на его качественные характеристики (глубокий или поверхностный, пульсирующий или плавный).[86]

[85] Хотя обычно эрекция считается непременным условием для оргазма, это, строго говоря, не совсем верно. Например, если половая артерия пережата, то эрекция наступить не может, но стимуляция пениса в некоторых случаях все еще может привести к оргазму.

[86] Но не думайте, что стимуляция заднего прохода или простаты нравится только геям или бисексуалам. Мой старый друг К. содержит интернет-магазин секс-игрушек и говорит: «Вы никогда не разоритесь, продавая парням-натуралам игрушки, которые можно вставлять себе в зад».

Для сигналов удовольствия в мозге существует специализированная нервная цепь, образовавшаяся еще на ранних этапах эволюции. Она довольно сложна, но если которотко, то происходит активация так называемой вентральной области покрышки – района в средней части мозга – с последующим поступлением нейромедиатора дофамина в некоторые другие зоны мозга через аксоны вентральной области покрышки. Самые значительные среди этих зон – прилежащее ядро и затылочное полосатое тело. Когда мы хотим есть, вкусная еда активирует эту дофаминовую нервную цепь удовольствия; активируется она и при оргазме. И это логично: нервная цепь удовольствия возбуждается при действиях, которые помогают оставаться в живых и передавать гены следующему поколению, – это еда, питье и сексуальные контакты. Многие психоактивные вещества, включая алкоголь, никотин, кокаин, амфетамины и героин, искусственным образом активируют эту же самую цепь.

Мы знаем, однако, что ощущение оргазма – это нечто большее, чем чистое удовольствие. Чтобы лучше понять субъективный опыт сексуального блаженства, полезно исследовать, как во время оргазма работает мозг. В соответствующих экспериментах мужчины и женщины соглашались подвергнуться сканированию мозга. Пока ученые в лаборатории стояли вокруг со своими папками и бумагами, стараясь не слишком смущать участников, партнеры доводили друг друга до оргазма с помощью петтинга. В этих условиях можно сравнивать три состояния: отсутствие стимуляции, генитальная стимуляция до оргазма и генитальная стимуляция во время оргазма.

Активность мозга во время генитальной стимуляции и оргазма у мужчин и женщин по большей части совпадает. При стимуляции гениталий до оргазма участки активации обнаруживаются в первичной соматосенсорной коре: один – в соответствующей зоне осязательной карты, а другой – недалеко от зоны пальцев ног на мезиальной поверхности задней центральной извилины. Дополнительные участки активации отмечаются в соответствующих зонах осязательной карты в областях обработки информации в высшей соматосенсорной коре, например во вторичной коре.

При продолжении генитальной стимуляции наблюдается снижение активности в мозжечковой миндалине – зоне, отвечающей за обработку сигналов, связанных со страхом.[87] Этот результат можно истолковать так: длительная генитальная стимуляция приводит к снижению уровня страха и, соответственно, ослаблению бдительности по отношению к потенциальным угрозам – иными словами, расслабляет.

Когда наступает оргазм, то, вдобавок к активации соматосенсорной коры и деактивации мозжечковой миндалины, наблюдается активация ключевых участков цепи удовольствия: вентральной области покрышки, прилежащего ядра и затылочного полосатого тела. Активность проявляют и мозжечковые ядра – зона, отвечающая за координацию движений и некоторые эмоциональные когнитивные аспекты. Возможно, именно ее активацией объясняются непроизвольные движения тела и мимических мышц при оргазме. Кроме того, некоторые области мозга при оргазме деактивируются. Это боковая орбитофронтальная кора и передний полюс височной доли, отвечающие за принятие взвешенных решений, самоконтроль, моральный выбор и социальную оценку. Момент оргазма – определенно не лучшее время для принятия четких решений по поводу дальнейшей жизни, поскольку многие важные зоны мозга временно уходят в тень.

Большинству аппаратов для сканирования мозга не хватает скорости. Они могут оценивать активность, продолжающуюся не менее нескольких секунд. Поэтому у нас нет подробного понимания временной последовательности активации или деактивации зон головного мозга во время генитальной стимуляции и оргазма. Предположительно стимуляция осязательных

[87] Мозжечковая миндалина прежде всего известна обработкой сигналов страха, но играет роль и в других типах обработки эмоциональной информации и обучения.

рецепторов в гениталиях приводит к активации генитальных зон на осязательной карте в мозге. Помимо этого мы мало что знаем. Возможно, что генитальные зоны соматосенсорной коры при постоянной стимуляции в определенных условиях отправляют сигналы, которые активируют одни зоны, такие как вентральная область покрышки, и деактивируют другие, такие так мозжечковая миндалина и боковая орбитофронтальная кора. Движение сигналов между зонами мозга во время оргазма остается пока плохо изученным.

Чудо в том, что, когда мы испытываем оргазм, он кажется единым божественным ощущением, а не набором разрозненных реакций. Мы считаем оргазм по природе своей приносящим удовольствие и эмоционально позитивным событием. Почему? Если просто свести воедино результаты, полученные в ходе сканирования мозга, получится своего рода рецепт.

Для оргазма смешайте следующие ингредиенты:

Активация осязательной зоны, соответствующей гениталиям (соматосенсорная кора).

Деактивация страха и бдительности (мозжечковая миндалина).

Активация цепи удовольствия (вентральная область покрышки, прилежащее ядро, заднее полосатое тело).

Активация центра контроля движений (мозжечковые ядра).

Деактивация зон, отвечающих за медленное принятие решений (боковая орбитофронтальная кора и передний полюс височной доли).

Количество порций: 1.

Если это действительно рецепт оргазма, то мы можем представить себе любопытный мысленный эксперимент: способна ли искусственная активация и деактивация всех этих зон головного мозга привести в итоге к точному воспроизведению естественного оргазма? Мы не знаем, и приблизиться к такому сценарию удается пока только при помощи естественного эксперимента: у некоторых людей оргазм вызывают эпилептические припадки. Маловероятно, чтобы в ходе подобных припадков точно воспроизводилась последовательность активации и деактивации, входящая в наш рецепт оргазма, так что неудивительно, что пациенты, страдающие от них, указывают на различия между «эпилептическим» оргазмом и оргазмом в ходе обычного полового акта. Например, маловероятно, чтобы при «эпилептических» оргазмах отключались бдительность и когнитивные способности (что вызвается деактивацией мозжечковой миндалины).

Сексуальные ощущения при эпилепсии тоже не единообразны. Если припадки ограничены теменной долей головного мозга, они могут вызывать ощущение прикосновения к генитальной и перигенитальной областям, но не дают такого резкого ощущения удовольствия, которое характерно для оргазма. Если приступы сосредоточены в центральной и височной долях, иногда наступает ощущение волны удовольствия, но это удовольствие не будет связано именно с гениталиями и даже вообще с осязанием. Оно больше похоже на расплывчатое удовольствие от приема наркотиков-опиатов. Только при одновременной активации соматосенсорной коры в теменной доле и цепи удовольствия в центральной и височной долях приступ эпилепсии способен вызвать ощущения, характерные для естественного оргазма.

Хотя мы считаем оргазмы заведомо приятными по своей природе ощущениями, на самом деле это просто уловка, к которой прибегает наш мозг, одновременно задействуя несколько зон. В сущности, оргазм можно подразделить на компоненты. Смыслоразличительные осязательные ощущения в области гениталий активируют соматосенсорную кору, но сами по себе никакого удовольствия они не доставляют. Они не имеют никакой эмоциональной значимости. Приятные эмоциональные ощущения возникают только при активации вентральной области

покрышки и дофаминовых нейронов. То, что оргазм сопровождается расслаблением (потерей бдительности) и растормаживанием когнитивных процессов, – результат деактивации соответствующих зон мозга. Но главное, что нам не нужно думать обо всех этих разрозненных ингредиентах оргазма. Мы просто наслаждаемся единым ощущением, которое приготовил нам мозг.

Глава 5
Жгучие перцы чили, прохладная мята и летучие мыши-вампиры

Вот вам план: я даю вам рюкзак с пакетами на молнии – часть пакетов содержит свежие листья мяты, а часть – сочные перцы чили-хабанеро. Еще я дам вам папку-планшет, карандаш, пару чистых носков и билет на кругосветное путешествие на самолете. Ваша работа, если вы согласитесь, будет заключаться в том, чтобы путешествовать по миру, заглядывая как в мегаполисы, так и в самые отдаленные поселения в джунглях. Там вам предстоит найти нескольких людей самого разного возраста и материального положения, растереть у них на коже измельченные листья мяты или порезанные кубиками перцы, попросить описать впечатления и записать их ответы. Попытайтесь исследовать ощущения как на гладкой коже губ, так и на волосистой коже рук. (Эти вещества необязательно пробовать на вкус, чтобы испытать нужные эффекты.)

Если провести исследование там, где я живу, то есть в Балтиморе, выяснится, что как на губах, так и на руке ощущения от перца хабанеро описываются в основном словом «жгучие», а от листьев мяты – «прохладные». Что это – просто удобное выражение, разговорный оборот? Ведь если взять термометр и измерить физическую температуру мяты или перцев чили, окажется, что они не холодные и не горячие. А балтиморцы, как и многие другие, часто используют эти слова и их синонимы в метафорическом смысле – например, передают равнодушие («прохладный прием») или сексуальную привлекательность («Рэйчел Вайс – горячая штучка»). Слово «прохладный» в значении «равнодушный» и слово «горячий» в значении «сексуально привлекательный» – метафоры, специфичные для определенного времени и территории. Судя по всему, в шекспировские времена эти значения не были известны. Так что же, «жгучие перцы чили» и «прохладная мята» – тоже локальные метафоры, зависимые от культуры, или же они отражают какую-то глубинную биологическую реальность? Если же это чисто культурные конструкты, то в своем путешествии вы наверняка найдете группы людей, которые не будут называть тактильные ощущения от перца чили жгучими, а от листьев мяты – прохладными.

Но даже если ваше исследование выявит, что подобные фигуры речи широко распространены, будет ли это достаточным доказательством того, что жгучий перец и прохладная мята – биологически детерминированные метафоры? Не вполне. Можно поиграть в адвоката дьявола, предположив, что это результат многовековых глобальных связей: идея жгучего чили и прохладной мяты зародилась в одном месте и благодаря культурным контактам распространилась по всему миру. Различные виды мяты растут по всему земному шару, но перец чили родом из Южной Америки и до европейской колонизации успел попасть лишь в Северную Америку и на острова Карибского бассейна. В Европе, Африке и Азии его не знали, пока Колумб не вернулся из Нового Света. Затем чили стал распространяться благодаря европейцам, преимущественно испанцам и португальцам, которые завозили его в другие свои колонии. Трудно представить, но в Индии и Таиланде острого перца чили не было до XVI века![88] Сложно сказать, есть ли

[88] Перцы чили – стручки пяти разных культивируемых видов рода Capsicum. Археологические раскопки показывают, что в современной Мексике перец чили ели еще шесть тысяч лет назад. Из Вест-Индии чили привез в Европу Диего Альварес Чанка, лекарь второй экспедиции Колумба (1493). В доколумбовы времена у европейцев, азиатов и африканцев в ходу был только черный перец, но он не имеет с чили ничего общего. Черный и белый перец получают из ягод перечного растения *Piper nigrum* родом из Южной Индии. Чтобы получить черный перец, высушивают почти зрелые ягоды. Зерна белого перца собирают почти перезрелыми и затем вымачивают в рассоле, чтобы сошла темная оболочка, оставив лишь белые семена. Основной острый компонент черного перца – пиперин, который и химически, и функционально отличается от капсаицина, содержащегося в чили. В доколумбову эру некоторые жители Азии использовали и семена растений Zanthoxylum simulans и Zanthoxylum bungeanum, ныне известных как сычуаньский перец. Зерна сычуаньского перца благодаря своему главному

на земле такие места, куда чили еще не добрался.[89] Поэтому для полного успеха исследования вам понадобится еще и машина времени, которая доставила бы вас, например, в Таиланд XV века, чтобы вы могли поставить опыт и там.

Насколько мне известно, подобное этнографическое (не говоря уже о машине времени) исследование еще предстоит провести, но биологи можно догадаются, чем оно закончится. Учитывая все, что мы знаем о биологии осязания, можно предсказать, что почти все жители Земли назовут перец чили жгучим, а мяту прохладной, пусть даже они испытывают эти осязательные ощущения в первый раз и не будут знакомы с тем, как их описывают другие. Судя по всему, метафоры прохладной мяты и жгучего чили предопределены биологически.

Основной активный ингредиент мяты – ментол, аналогичный ему в перцах чили – капсаицин. В менее острых сортах чили, таких как анахайм, концентрация капсаицина ниже, а в очень острых, таких как бхут джолокия, примерно в тысячу раз больше.[90] Так почему мы биологически предрасположены к тому, чтобы считать ментол холодным, а капсаицин – горячим? Одно из возможных объяснений: в коже есть класс нервных окончаний, которые отвечают за чувство холода, и другой класс – воспринимающих ментол. Сигналы, передающиеся этими разными видами волокон, затем сходятся в мозге: мята и холод воспринимаются одинаково, потому что активируют одну и ту же зону мозга, отвечающую за ощущение холода. Точно так же отдельные нервные окончания, воспринимающие соответственно повышение температуры и капсаицин, могут посылать импульсы в одну и ту же зону восприятия жары.

Иными словами, это гипотеза о конвергенции сигналов в соматосенсорной коре. При всей своей элегантности и кажущейся логичности, она совершенно неверна. Откуда мы это знаем? Во-первых, у нас есть возможность записать электрические сигналы от одного кожного рецептора в руке, реагирующего как на нагревание, так и на капсаицин, и от другого, который реагирует и на ментол, и на охлаждение. Значит, температурные и химические сигналы улавливаются нейронами кожи задолго до поступления сигнала в мозг.

Во-вторых, есть и химические доказательства. В эпидермисе (рис. 2.3) есть свободные нервные окончания, на внешней мембране которых имеется рецептор TRPV1. Это молекула белка, способная реагировать и на нагревание, и на капсаицин, открывая ионный канал – отверстие, через которое поступают положительные ионы, в результате чего сенсорный нейрон начинает испускать электрические импульсы. Есть и свободные нервные окончания с другим рецептором – TRPM8, который реагирует и на ментол, и на охлаждение. Вот и ответ на загадку: метафора эта не только не из области культуры, но даже не из области мозга. Она закодирована в рецепторных молекулах нервных окончаний кожи.

Как развилась такая молекулярная метафора? Как такие терморецепторы, как TRPV1 и TRPM8, выработали чувствительность к продуктам растительного происхождения – капсаицину и ментолу? Точную последовательность эволюционных событий, положивших начало двойной функции этих рецепторов, установить нельзя. Пока самое обоснованное предложение состоит в том, что TRPV1 и TRPM8 развились у определенных видов животных в качестве температурных рецепторов, а некоторые растения впоследствии стали вырабатывать соединения, которые помогали предотвратить их поедание. Растения, содержавшие ментол и капсаицин, получили репродуктивное преимущество и больше шансов на выживание, тем самым добив-

---

действующему веществу – гидроксиальфасаншулу – вызывают пощипывание и онемение. Как и черный перец, сычуаньский отличается от перца чили и химически, и эмпирически.

[89] Возможно, люди, живущие в отдаленных регионах Калимантана или Новой Гвинеи, пока еще не сталкивались с перцем чили и не слышали, что его считают «жгучим», но и это маловероятно. Некоторые племена бассейна Амазонки почти не контактируют с внешним миром, но перец чили там растет, так что, возможно, они с ним все-таки имеют дело.

[90] Капсаицин – основной острый компонент перца чили, но есть и другие вещества из его группы – капсаициноиды. Существует всего пять различных растений рода *Capsicum*, но есть многочисленные подвиды, созданные людьми: они называются культурными сортами. Как пудель и лабрадор – две породы одного вида *Canis lupus*, выведенные человеком, так и паприка и халапеньо – культурные сорта одного одомашненного перца чили *Capsicum annuum*.

шись численного превосходства своих видов. Этот сценарий предполагает, что именно ботаническая эволюция, а не эволюция животных стала первопричиной развития двойной функции рецепторов.

Дэвид Джулиус и его коллеги по Калифорнийскому университету в Сан-Франциско изучали молекулярные свойства TRPV1 и TRPM8, для чего модифицированные при помощи различных генетических приемов клетки почки или икринки лягушки культивировали в чашке Петри и получали в больших количествах TRPV1 и TRPM8, параллельно записывая электрические сигналы, передаваемые по клеточной мембране при стимуляции данных рецепторов. Исследования показали, что свойства этих молекул способны объяснить некоторые аспекты наших повседневных осязательных впечатлений. Так, масло эвкалиптового дерева выделяет субстанцию эвкалиптол, которая, как и ментол, может активировать TRPM8 и вызывать ощущение прохлады. Вот почему экстракт эвкалипта часто используется в успокаивающих кремах для кожи, ополаскивателях полости рта и пастилках для горла.[91]

Функция этих рецепторов дает о себе знать летним днем на пляже. Слишком долго побыв на солнце, вы рискуете обгореть, что запустит в вашей коже серию воспалительных процессов. Например, образуются химические соединения – простаноиды и брадикинин, снижающие температурный порог активации TRPV1 с 43 до 29,5 °C. В результате, вернувшись домой с пляжа и встав под душ, чтобы смыть с себя песок и остатки крема для загара, вы обнаружите, что обычная вода стала слишком горячей, она обжигает, и хочется сделать воду в ду́ше похолоднее.[92]

Еще один факт подсказывают нам птицы. Если у всех млекопитающих имеется стандартный вариант TRPV1, который активируется и нагреванием, и капсаицином, то птицы к капсаицину совершенно безразличны, поскольку вообще не могут его ощутить. (Зерна в кормушках рекомендуется пересыпать перцем чили, чтобы отвадить белок, енотов и других млекопитающих, – так семена гарантированно достанутся только птицам.) Когда из клетки птицы извлекается ген TRPV1 и помещается в почечную клетку, появляется «птичья» форма TRPV1, которая реагирует на нагревание, но не на капсаицин. Анализ птичьей ДНК указывает на изменение в конкретном месте ее последовательности, которое отвечало за связывание капсаицина и находится на внутренней поверхности внешней клеточной мембраны. Интересно, что растение чили и птицы пришли к своего рода взаимовыгодному сотрудничеству: млекопитающие, поедая чили, обычно измельчают семена молярами, у птиц же вообще нет моляров, так что бо́льшая часть семян проходит через пищеварительную систему нетронутой. При дефекации они распространяют жизнеспособные семена в новых местах. Такое положение дел выгодно как для птиц, так и для перца.[93]

Через несколько лет после обнаружения TRPV1 различные группы ученых использовали генно-инженерный подход, чтобы вывести мышей без TRPV1 и оценить их реакцию на капсаицин и нагревание. Выяснилось, что у этих мышей-мутантов полностью отсутствует и поведенческая, и электрическая реакция на капсаицин, при этом реакция на нагревание хотя и стала менее выраженной, но не исчезла. Например, когда их хвосты помещали в горячую воду (50 °C), мыши их оттуда убирали, но делали это в четыре раза медленнее обычных животных.

---

[91] Существуют также синтетические соединения, которые активируют TRPM8 и вызывают сильное ощущение холода. Одно из них, изначально получившее обозначение AG-3-5, а затем названное ицилином, примерно в двести раз сильнее ментола.

[92] Средняя рекомендованная для взрослых температура воды в душе в США составляет 42 °C, что чуть ниже порога активации TRPV1. Хотя, конечно, все очень индивидуально.

[93] Птицы, питающиеся перцем чили, имеют доступ к пищевому ресурсу, недоступному почти никаким другим животным. Среди млекопитающих только люди намеренно употребляют перец чили.

Точно так же способность повышать восприимчивость к теплу посредством воспаления организма у мышей-мутантов снизилась, но не была полностью утрачена. Эти результаты свидетельствуют, что TRPV1 не единственный рецептор тепла – должны быть и другие.

Вскоре показалось, что удобное объяснение найдено: была открыта целая семья каналов TRPV с разной степенью чувствительности к теплу. Так, TRPV4 и TRPV3 в почечных клетках и чашке Петри реагировали на более низкие температуры, чем TRPV1. Напротив, TRPV2 отвечал за сильную жару (выше 51 °C), что намного выше температурного порога TRPV1. Таким образом, последовательная активация различных каналов TRPV с разными температурными порогами могла потенциально определить спектр значений температуры кожи, встречающихся в реальной жизни, – тепловатая, теплая, горячая, болезненно горячая (рис. 5.1). Помимо свободных сенсорных нервных окончаний, TRPV3 и TRPV4 были также найдены в кератиноцитах – основном типе клеток эпидермиса, в котором заканчиваются свободные нервные окончания. Это позволило предположить, что соседние клетки кожи могут играть вспомогательную роль, способствуя выявлению мягкого тепла свободными нервными окончаниями. TRPV1, один из детекторов именно мягкого тепла, как оказалось, также активируется соединениями, содержащимися во многих специях: камфоре, мускатном орехе, корице, орегано, гвоздике и лавровом листе. Некоторые из этих специй действительно ассоциируются с ощущением тепла. (Например, в детстве я обожал Red Hots – конфеты со вкусом корицы.)

Рис. 5.1 наглядно демонстрирует, что TRPV4 и TRPV3 призваны отвечать за ощущение мягкого тепла, а TRPV2 – за ощущение невыносимой жары. Все вместе эти три дополнительных рецептора TRPV берут на себя остаточное восприятие тепла в тех случаях, когда ген TRPV1 удален или белок TRPV1 блокирован медикаментами. Удивительно, но выведенные в искусственных условиях лабораторные мыши без TRPV3, TRPV4 или TRPV2 (как одного из этих генов, так и различных сочетаний) никак не проявляли сколько-нибудь неполноценного восприятия тепла в самых разных ситуациях. Такой результат позволяет уверенно предположить, что в коже имеется еще больше температурных рецепторов, которые мы пока не выявили, и, скорее всего, это молекулы, не относящиеся к семейству генов TRPV.[94]

[94] Даже после ингибирования TRPV1 эффектов от удаления TRPV2 или TRPV4+TRPV3 обнаружено не было.

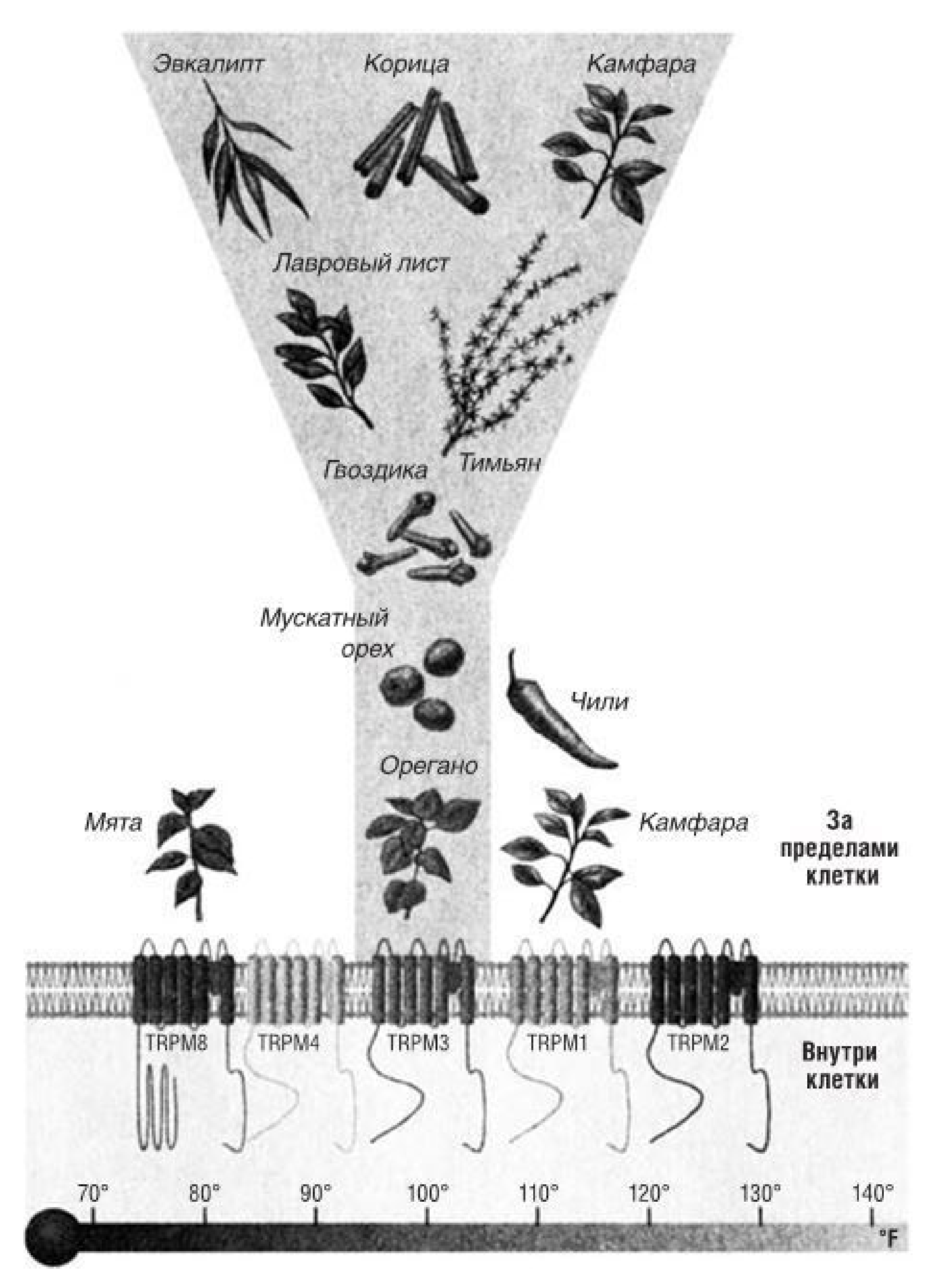


Рис. 5.1. Семейство чувствительных к температуре TRP-рецепторов может реагировать на нагревание, охлаждение и различные острые химические соединения, содержащиеся в растениях. На рисунке каждый TRP-рецептор размещен в том месте температурной шкалы, где он начинает реагировать на нагревание или охлаждение кожи. Нужно помнить, что, хотя средняя температура тела составляет около 99 °F (37,2 °C), температура в эпидермисе поддерживается на уровне 90 °F (32,2 °C). Хотя TRP-рецепторы не идентичны, у них есть общие свойства: так, все они по шесть раз пронизывают клеточную мембрану и имеют петлевидную структуру, что позволяет им формировать в мембране ионный канал. Здесь показана

молекулярная структура каждого TRP-рецептора. Стоит отметить, что точки термальной активации всех этих рецепторов не являются жестко закрепленными, а варьируют от клетки к клетке. Адаптировано из: Vay l., Gu C., McNaughton P. A. The thermo-TRP ion channel family: properties and therapeutic implications // British Journal of Pharmacology 165. 2012. 787–801, с разрешения издательства Wiley

С ощущением прохлады также не все понятно. У выведенных при помощи генной инженерии мышей без гена TRPM8 полностью отсутствовала реакция на ментол и эвкалиптол на коже и была частично снижена способность реагировать на умеренное охлаждение. Однако если реакция на умеренное охлаждение (ниже 25 °C) сильно снизилась, то реакция на сильное охлаждение (ниже 14,5 °C) никак не изменилась. Подобно частичному эффекту от удаления TRPV1, этот результат свидетельствует о наличии дополнительных молекулярных рецепторов холода, на случай особенно сильного охлаждения, но их еще предстоит найти.[95]

При втирании в кожу мята вызывает ощущение прохлады, а перцы чили кожу жгут. А какое впечатление производит хрен или его японский родственник – васаби? Они не то чтобы жгучие, а скорее теплые. Васаби, хрен и желтая горчица содержат соединение AITC (аллилизотиоцианат, или аллиловое горчичное масло), которое активирует еще один рецептор все того же семейства TRP под названием TRPA1.[96] В ту же группу соединений входят аллицин и DADS (диаллилдисульфид), которые есть в чесноке и луке и отвечают за ощущения, возникающие на коже от соприкосновения с этими растениями, в том числе и за слезы, которые появляются при активации TRPA1 в роговице.[97]

Когда в 1980-е годы я жил в Чикаго, на Холстед-стрит был отличный итальянский бар. Там подавали пареный чеснок, который можно было намазать на хрустящий хлебец и запить пивом *Moretti*. Блюдо готовили так: аккуратно удаляли шелуху и всю головку готовили на пару. Только после полной готовности повар разрезал ее по «экватору» на две части, и клиент специальным тонким ножиком выковыривал нежную мякоть из каждого зубчика. Повара с давних пор знают, что едкие соединения, которые содержатся в чесноке и луке и вызывают раздражение кожи и глаз, образуется только при разрезании или измельчении овоща.

---

[95] В современной научной литературе по вопросу TRPM8-независимых рецепторов царит полная неразбериха. Некоторые группы исследователей утверждают, что определенную роль здесь играет ген TRPA1, рецептор васаби, о котором речь пойдет далее, но остальным не удалось воспроизвести результаты их эксперимента.

[96] Изначально TRPA1 назывался ANKTM1, затем произошла стандартизация номенклатуры TRP-каналов.

[97] Химические соединения аллицин и диаллилдисульфид, содержащиеся в луке и чесноке, сходны по составу с аллилизотиоцианатом, присутствующим в горчице, хрене, васаби и подобных растениях.

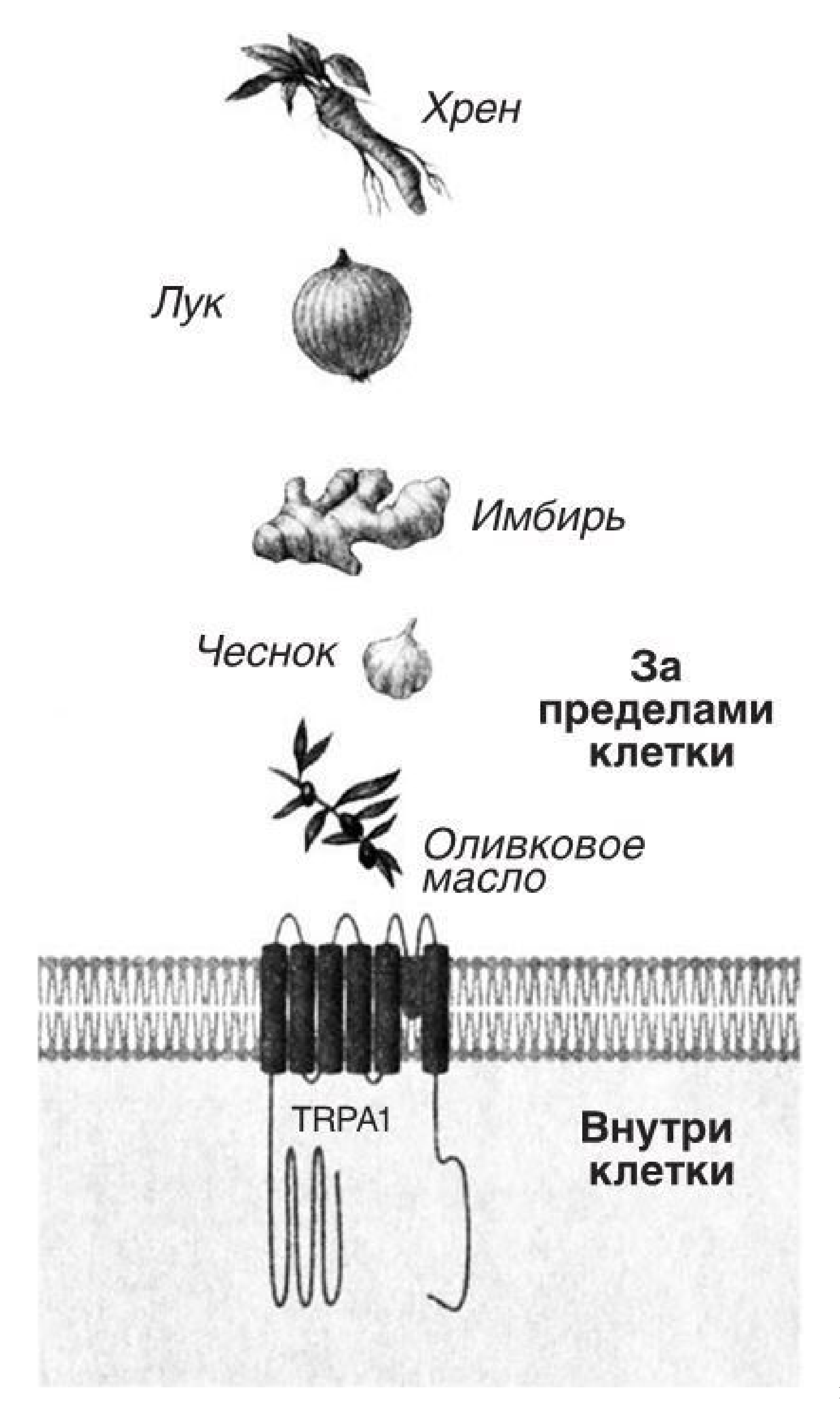

Хрен
Лук
Имбирь
Чеснок
За пределами клетки
Оливковое масло
TRPA1
Внутри клетки

Рис. 5.2. Рецептор TRPA1, которому дали прихотливое название «рецептор васаби», активируется множеством едких соединений, содержащихся в растениях – прежде всего в васаби, хрене и желтой горчице, а также в структурно схожих продуктах (от лука до чеснока), и совершенно иным соединением – олеоканталом из оливкового масла первого отжима. Интересно, что несколько различных семейств растений, например капустные (васаби, хрен, горчица) и луковые (репчатый лук, чеснок, порей, шалот), независимо друг от друга выработали соединения, активирующие TRPA1, скорее всего для отпугивания животных, хотя эти соединения обладают и противомикробными свойствами. Адаптировано из: Vay l., Gu C., McNaughton P. A. The thermo-TRP ion channel family: properties and therapeutic implications // British Journal of Pharmacology 165. 2012. 787–801, публикуется с разрешения издательства Wiley

Если луковица не повреждена, энзим, вырабатывающий аллицин и родственные ему едкие вещества, остается запертым в специальных отсеках растительных клеток и не выходит наружу. Аллицин и DADS к тому же частично разлагаются при высокой температуре. Это значит, что если готовить лук или чеснок целиком, то концентрация едких соединений, активирующих TRPA1,[98] окажется ниже, раздражения кожи и глаз почти не будет, так что в результате получится мягкая, нежная закуска.[99]

Желтодревесник (*Zanthoxylum*) называют еще «зубным деревом», потому что его сок и ягоды вызывают во рту онемение и покалывание и снимают зубную боль. Ягоды желтодревесника именуются сычуаньским перцем и ценятся за свой острый вкус, что они придают блюдам, которые готовят в китайской провинции Сычуань. Такое покалывание свидетельствует о взаимодействии сенсорных нейронов. И в Восточной Азии, и в Северной Америке препараты из желтодревесника (он же перечное дерево) используются в народной медицине как антисептик и болеутоляющее. Активный ингредиент перечного дерева называется гидроксиальфасаншул. Учитывая все, что мы узнали о действии других растительных соединений на сенсорные нейроны в коже, логично предположить, что гидроксиальфасаншул активирует какие-то TRP-каналы в клетках кожи. Однако это не так. Гидроксиальфасаншул возбуждает сенсорные нейроны иным образом – блокирует ионный канал, так называемый двухпорный калиевый канал. В обычных условиях по этому каналу из нейрона медленно выходят положительно заряженные ионы; если же канал блокирован, то в клетке быстро накапливается положительный заряд, она начинает испускать импульсы и, соответственно, направлять сигналы в мозг. Среди нейронов, активируемых препаратами перечного дерева, есть входящие в тактильные С-волокна, которые передают информацию о легких приятных прикосновениях, и в тельца Мейснера, проводящие информацию о вибрации на умеренных частотах. Не вполне понятно, почему активация этих нейронов вызывает ощущение покалывания.[100]

Летучие мыши-вампиры – удивительные животные, и не только из-за их звездных ролей в фильмах ужасов.[101] Мы уже немного говорили о них в контексте социального груминга, когда

---

[98] При варке лука распадаются не только активаторы TRPA1 – аллицин и диаллилдисульфид, – но и полимеры фруктозы (фруктаны), обращаясь в мономеры, придающие сладкий вкус.

[99] Лучшие оливковые масла первого отжима имеют характерный острый вкус, ощущающийся только в глотке. Поэтому эксперты называют лучшие оливковые масла «кашлевыми». Соединение, которое имеется в оливковом масле и приводит к такому результату, – это TRPA-1-активатор олеокантал. TRPA1 вырабатывается только в клетках, выстилающих глотку – но не язык и не полость рта. Вот почему олеокантал вызывает кашель.

[100] Хотя двухпорные калиевые каналы широко распространены и в нейронах, и в других клетках, гидроксиальфа-саншул возбуждает лишь определенный тип этих каналов, образованный продуктами генов KCNK3, KCNK9 и KCNK18.

[101] Да, отмечены случаи, когда летучие мыши-вампиры сосали кровь у спящих людей. Однако это происходит очень редко. Все три вида вампиров предпочитают копытных.

они делятся друг с другом пищей, а именно кровью (глава 1). Сейчас мы обратимся к их тактильной специализации, помогающей им находить пищу. Вампиры занимают уникальную экологическую нишу: это единственные известные нам млекопитающие, которые питаются только кровью теплокровных животных (других млекопитающих и птиц). Некоторые летучие мыши едят насекомых или фрукты, но вампиры способны глотать только жидкость и скорее умрут от голода, чем попробуют твердую пищу. Вампиры летают, высматривая жертву, и обычно приземляются ей на спину или на шею. Затем они начинают искать подходящее место для осторожного укуса и извлекают из ранки примерно две чайные ложки крови. Важно, чтобы место будущего укуса не было покрыто густой шерстью или мехом, а кровеносные сосуды находились относительно близко к коже. Поиски кровеносного сосуда – тот случай, когда умение определять тепло на расстоянии особенно важно. Людвиг Кюртен и Уве Шмидт из Боннского университета провели в лаборатории опыт с летучими мышами-вампирами и выяснили, что они улавливают инфракрасное излучение, испускаемое кожей человека, на расстоянии примерно 15 см.

У многих видов летучих мышей есть особый вырост на морде – носовой листок, который, как предполагают, помогает осуществлять эхолокацию для поиска жертвы. Но только у вампиров носовой листок окружают три обонятельные ямки (рис. 5.3). Кожа в этих ямках тонкая, безволосая, на ней отсутствуют лимфатические узлы – словом, идеальное место для размещения инфракрасных рецепторов. От других частей морды ямки отделены слоем плотной соединительной ткани, которая служит термоизоляцией. Поэтому температура обонятельных ямок составляет 84 °F (29 °C), что гораздо ниже температуры остальной кожи – 99 °F (37,2 °C). Это позволяет рецепторам тепла в обонятельных ямках улавливать разницу между теплом жертвы и собственным теплом летучей мыши.

Какой же рецептор используют вампиры для выявления инфракрасного излучения?

Как мы уже знаем, TRPV1 у людей и мышей может определять температуру выше 43 °C, но совершенно очевидно, что такой чувствительности недостаточно. Чтобы обнаружить инфракрасный рецептор у вампиров, Дэвид Джулиус, Елена Грачева и их коллеги поставили хитрый эксперимент. Они взяли вампиров и плодоядных крыланов (неспособных улавливать инфракрасное излучение). Затем они осторожно вырезали кластеры клеточных тел нейронов в лицевой части (в тройничном узле) и проанализировали в них экспрессию гена TRPV1. Выяснилось, что там содержатся два разных варианта белка TRPV1: длинная форма, имеющая обычный температурный порог 43 °C, и короткая, активируемая при гораздо более низкой температуре – около 30 °C, что лишь ненамного превышает температуру обонятельных ямок в состоянии покоя. В тройничном узле крыланов нашлась только длинная форма TRPV1, а у вампиров присутствуют обе, примерно в одинаковых количествах.[102]

[102] В тройничных ганглиях летучих мышей-вампиров около 45 % молекул информационной РНК, обеспечивающих трансляцию белка TRPV1, имели альтернативную сокращенную форму, а у фруктовых летучих мышей этот показатель составлял около 5 %. Не все нейроны тройничного ганглия вампиров иннервируют обонятельные ямки, так что значение 45 % вполне логично: не стоило ожидать, что оно будет больше.

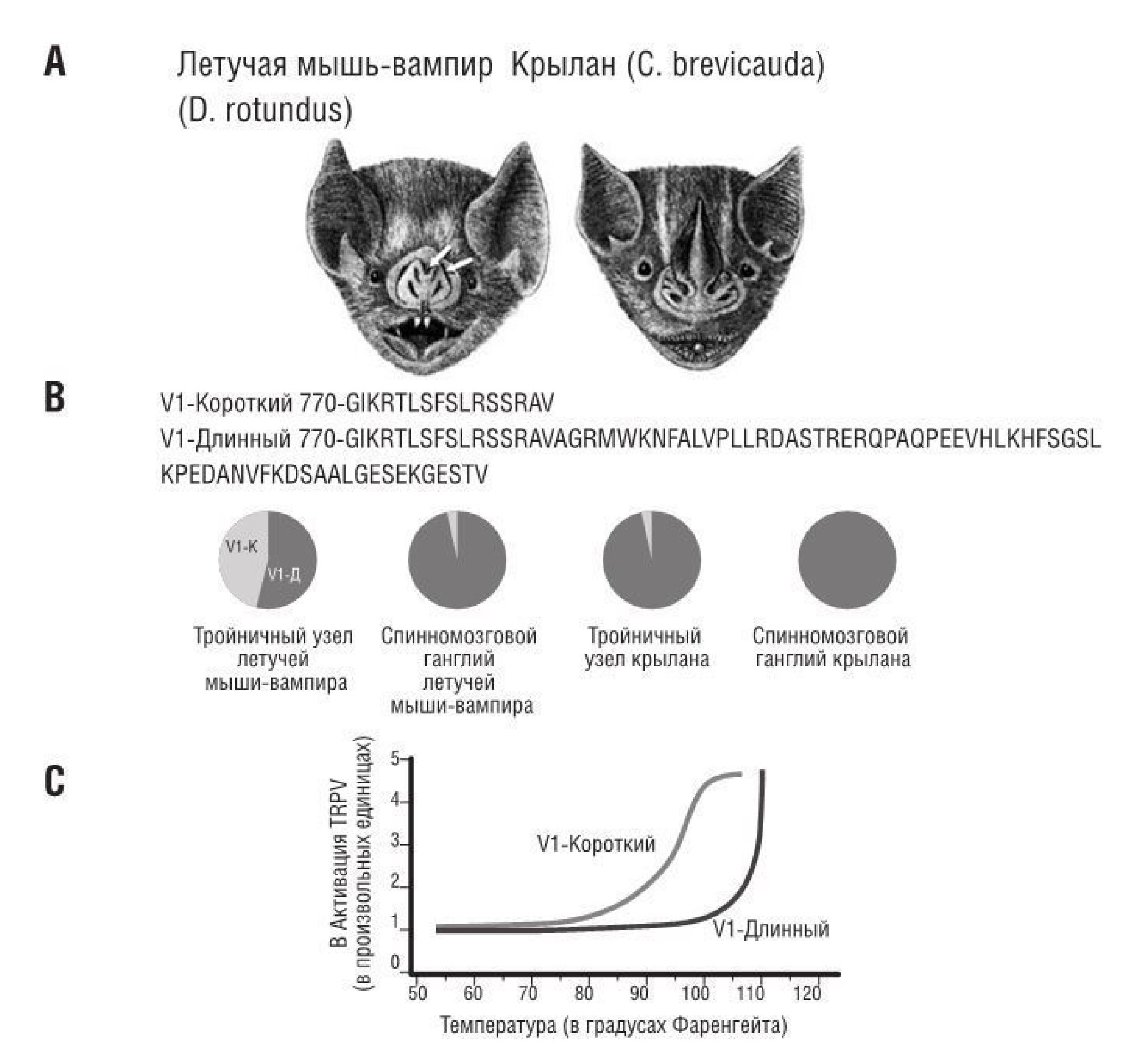


Рис. 5.3. Модифицированная сверхчувствительная форма TRPV1 позволяет летучим мышам-вампирам улавливать инфракрасное излучение. (A) Летучие мыши-вампиры, способные улавливать инфракрасное излучение, обладают обонятельными ямками (на них указывают стрелки), а крыланы их не имеют и инфракрасное излучение не воспринимают. (B) Аминокислотная последовательность карбокситерминальной части двух форм белка TRPV1 (получаемых в результате альтернативного сплайсинга мРНК) – короткой, сверхчувствительной к жаре, и длинной, отвечающей за нормальную чувствительность. Короткая форма сильнее всего продуцируется в нейронах тройничного узла, находящихся в лицевой части (в том числе и в обонятельных ямках), и гораздо слабее – в нейронах спинномозговых ганглиев, проходящих по телу летучей мыши. (C) При искусственной наработке белка в почечных клетках, выращенных в чашке Петри, сверхчувствительная форма TRPV1 начинает активироваться при температуре 30 °C, в то время как длинная форма активируется при температурах выше 43 °C. Адаптировано из: Gracheva E. O., Cordero-Morales J. F., González-Carcacía J. A., Ingolia N. T., Manno C., Aranguren C. I., Weissman J. S., Julius D. Ganglion-specific splicing of TRPV1 underlies infrared sensation in vampire bats // Nature 476. 2011. 88–91, с разрешения Nature Publishing Group

В результате оказалось, что летучие мыши-вампиры развили сверхчувствительную форму TRPV1, которая помогает им улавливать инфракрасное излучение и тем самым искать пищу. Но что это значит для остального организма? Ведь вампиру нужно чувствовать тепло и другими органами. Когда было проведено исследование спинномозговых ганглиев вампиров – кластеров нейронов, которые проходят не по лицевой части тела, оказалось, что в них содер-

жатся лишь следовые количества сверхчувствительной короткой формы TRPV1. Это объясняет, почему вампиры сохраняют обычную температурную чувствительность других участков тела, не принимающих участия в поиске крови для пищи.

Уверен, что вы когда-либо задавались вопросом: если ослепить гремучую змею, сможет ли она ужалить жертву? Благодаря группе бесстрашных исследователей во главе с Питером Хартлайном из Университета Иллинойса в Урбане-Шампейне мы знаем ответ на этот вопрос. Исследователи (осторожно) завязали глаза гремучим змеям и поместили их на возвышение в центре круглого загона. Затем они побудили их к нападению, пошевелив источником тепла (горячим паяльником), симулируя движение теплокровного животного. Паяльник ставили под различным углом к змее чуть дальше расстояния ее броска (примерно в 90 сантиметрах). Даже с завязанными глазами змея делала бросок в нужном направлении, отклоняясь от цели всего градусов на пять. Авторы исследования отмечают: «Это очень впечатляет и для какой-нибудь мыши означает неминуемую смерть».

Как гремучей змее это удается? Дело не в обонянии: змеи так же точно попадают в теплый, но ничем не пахнущий объект (или обернутый не пропускающим запах чехлом). Но если поместить теплый объект за стеклом, препятствующим распространению инфракрасного излучения, точные атаки прекратятся. Итак, как и летучие мыши-вампиры, гремучие змеи улавливают инфракрасное излучение, испускаемое теплыми объектами, но гремучие змеи обладают гораздо большей чувствительностью: они способны уловить излучение с метровой дистанции, вампиры же – всего с 15 сантиметров. Орган, который отвечает за чувствительность гремучей змеи к инфракрасному излучению, называется ямкой. Это небольшое углубление между глазом и ноздрей (рис. 5.4). Если ямки на обеих сторонах прикрыты или повреждены, то гремучие змеи уже не способны успешно атаковать в темноте или с повязкой на глазах. И это не единственные змеи, улавливающие инфракрасное излучение, а лишь один вид подсемейства ямкоголовых (*Crotalinae*), которое включает мокасиновых змей, копьеголовых змей и бушмейстеров в обеих Америках и храмовых куфий и китайских щитомордников в Азии.

Их ямки функционируют как фотокамеры с точечной диафрагмой. Спереди небольшая апертура, сзади – тонкая чувствительная к инфракрасному излучению мембрана, так сильно натянутая, что по обеим ее сторонам имеется воздушное пространство. Рис. 5.4Б показывает, как апертура ямки ограничивает инфракрасное излучение таким образом, что его источник из конкретной точки пространства воздействует лишь на небольшой участок ямочной мембраны, тем самым позволяя ямке сформировать картину инфракрасного мира с низким разрешением. Ямочная мембрана содержит около 7000 сенсорных волокон тройничного узла змеи, которые передают информацию о ее инфракрасной карте мира в часть мозга, именуемую оптическим тектумом, где эта информация сливается с визуальной информацией, так что визуальная и инфракрасная карты накладываются друг на друга (рис. 5.4В).

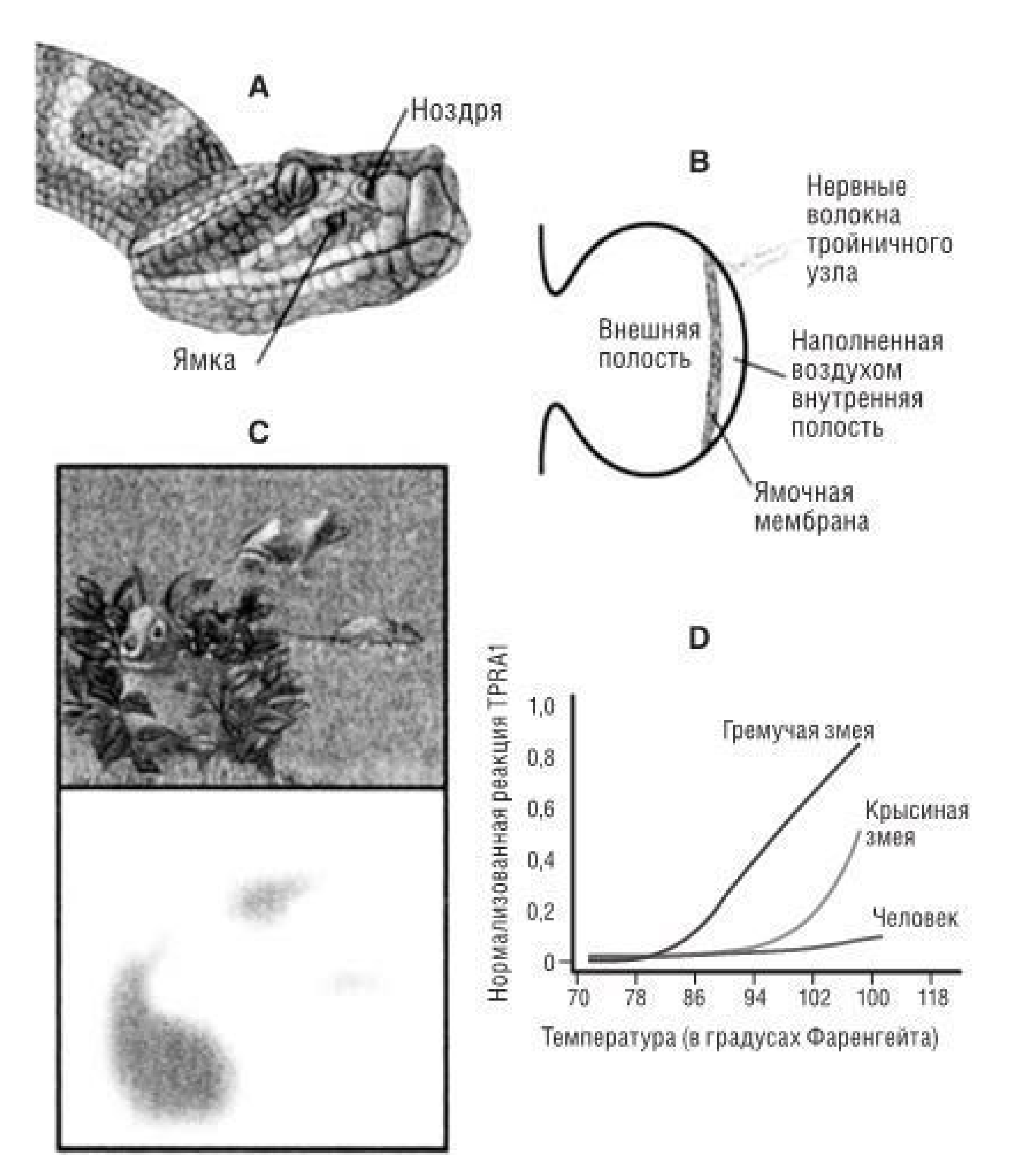


Рис. 5.4. Гремучая змея при помощи ямки на голове, которая содержит модифицированную сверхчувствительную к температуре форму TRPA1, может улавливать инфракрасное излучение. (A) Ямка расположена между глазом и ноздрей. (B) Разрез ямки показывает, что она функционирует как своеобразная фотокамера с точечной диафрагмой, позволяя локализовать жертву. Нервные волокна из клеток тройничного узла расходятся по ямочной мембране, которая натянута, как барабан, создавая заполненное воздухом пространство. (C) Соответствие визуального (сверху) и инфракрасного (снизу) сенсорных миров гремучей змеи. Эти два потока информации взаимодействуют и сочетаются в мозге змеи. Отметим, что змея при помощи органов восприятия инфракрасного излучения в состоянии определить смутный силуэт теплокровного кролика, даже если жертва скрыта кустами или просто темнотой. Способность змеи улавливать инфракрасное излучение заключается не только в возможности отличать более теплые объекты на холодном фоне, но и более холодные объекты на теплом фоне – как, например, лягушку, выпрыгнувшую из пруда на согретую солнцем траву. (D) TRPA1 у гремучей змеи генетически модифицирован, так что его можно активировать при температурах выше 30 °С. TRPA1 у крысиной змеи, не обладающей способностью

воспринимать инфракрасное излучение, лишь слабо активируется при нагревании, а человеческий TRPA1 не активируется вовсе. Рисунки А, Б и Г адаптированы из: Gracheva E. O., Ingolia N. T., Kelly Y. M., Cordero-Morales J. F., Hollopeter G., Chesler A. T., Sánchez E.E., Perez J. C., Weissman J. S., Julius D. Molecular basis of infrared detection by snakes // Nature 464. 2010. 1006–1011, с разрешения Nature Publishing Group. Рисунок В адаптирован из: Newman E. A., Hartline P. H. The infrared «vision» of snakes // Scientific American 246. 1982. 116–127., с разрешения Macmillan Publishers

Возможно, молекулярный рецептор, который отвечает за восприятие инфракрасного излучения в ямках гремучей змеи, – это та же сверхчувствительная форма TRPV1, что и у летучих мышей-вампиров? Но, изучив тройничные узлы, в которых находятся сенсорные нейроны, иннервирующие ямки змей, Дэвид Джулиус с коллегами убедились, что форма TRPV1 здесь обычная и восприятие змеей инфракрасного излучения объясняется не им. Зато они обнаружили в том же тройничном узле четырехсоткратное превышение по рецептору васаби – TRPA1. Это был удивительный результат, ведь у млекопитающих TRPA1 вообще не реагирует на нагревание. Когда человеческий и змеиный TRPA1 были выращены в почечных клетках, выяснилось, что змеиный TRPA1 активируется уже при температуре 30 °C, а человеческий к жаре почти не чувствителен. У крысиных змей, не обладающих лицевыми органами восприятия инфракрасного излучения, форма TRPA1 имеет слабую чувствительность к теплу.[103] Мы считаем TRPA1 лишь рецептором васаби только потому, что сначала изучали его у млекопитающих. При более «змеецентричном» подходе нам следовало бы определить TRPA1 как температурный сенсор, который может также активироваться васаби и чесноком.

Боа и питоны – змеи, которые появились миллионов лет на 30 раньше, чем ямкоголовые. У них тоже есть ямки, улавливающие инфракрасное излучение, обычно по тринадцать с каждой стороны головы. Расположены они в два ряда – один сверху от рта, другой снизу. Отверстия этих ямок ничем не стянуты, так что они работают не как фотокамеры. Вместо этого у каждой ямки есть свое поле обзора, в зависимости от ее положения на голове змеи. Поведенческие тесты позволяют утверждать, что питоны и боа не так чувствительны к инфракрасному излучению, как гремучие змеи. Потому неудивительно, что и TRPA1 питонов оказался менее чувствителен, чем его аналог у гремучих змей, но более чувствителен, чем TRPA1 крысиных змей. При сравнении последовательностей генов TRPA1 у людей, питонов и гремучих змей оказывается, что модификация гена TRPA1, в результате которой этот рецептор стал воспринимать тепло, происходила у змей дважды в ходе эволюции: сначала у древних питонов и боа, затем у более современных ямкоголовых видов. Иногда процессы случайных мутаций и естественного отбора приводят к сходным молекулярным и структурным решениям (таких, как чувствительность к инфракрасному излучению) у разных организмов, но между этими решениями могут лежать миллионы лет. Таков удивительный процесс конвергентной эволюции.

Не все животные используют рецепторы инфракрасного излучения для поиска добычи. Например, большинство животных убегают или улетают от лесных пожаров, а вот живущие в Северной Америке златки пожарные (*Melanophila*), напротив, летят им навстречу. Но движет ими не стремление к самоуничтожению. Они прилетают на место пожара, как только догорит огонь, и спариваются в теплом пепле. Затем самка откладывает яйца под обугленную кору сосен. Когда следующим летом на свет появляются личинки златок, они питаются обгорелой корой. (У живых деревьев есть механизмы химической защиты, благодаря которым личинки воспринимают кору как несъедобную.) В некоторых случаях внимание златок привлекали дру-

[103] И люди, и гремучие змеи чувствительны к аллилизотиоцианату – острому химическому соединению, которое содержится в васаби, но человеческий TRPA1 намного более чувствителен. Похоже, существует некий молекулярный компромисс между температурной чувствительностью и чувствительностью к васаби.

гие «горячие точки» – например, заводы или даже футбольные стадионы, где курили тысячи болельщиков. Вероятно, самое известное их нашествие приключилось в 1925 году в Калифорнийской долине. Когда у города Коалинга загорелась цистерна с нефтью, на нее полетели полчища златок. Газеты писали, что в Коалингу прилетели миллионы насекомых, которые оставались там еще несколько дней после окончания пожара.

Поскольку Коалинга находится в засушливой долине, можно предположить, что златки прилетели откуда-то с западных отрогов Сьерра-Невады, примерно в 130 километрах от города. У этих насекомых имеется по одной ямке, отвечающей за восприятие инфракрасного излучения, на обеих сторонах брюшка. Много лет спустя, когда Гельмут Шмиц и Герберт Бузак из Боннского университета провели вычисления для оценки уровня инфракрасного излучения, которое поступило на эти рецепторы с расстояния 130 километров, оказалось, что этот уровень так низок, что сливается с тепловым шумом, производимым самим организмом златки. Нервная система этого жучка выполняет сложную инженерную задачу, чтобы извлечь столь слабый сигнал и с его помощью запустить механизм миграции. Пока мы не знаем, используются ли в инфракрасных рецепторах златок TRPV1, как у летучих мышей-вампиров, TRPA1, как у гремучих змей, или что-то другое – возможно, вообще не принадлежащее к семейству TRP.[104]

Если вбить в поиск по картинкам слово *paradise,* или «рай», монитор заполнится сотней различных изображений с видами тропических пляжей. Как это объяснить? Частично тем, что тропический пляж для людей, живущих в благополучных странах, часто символизирует место ленивого отдыха. Но почему же тогда при запросе «рай» не выдаются другие популярные места проведения отпуска – например, Нью-Йорк, Диснейленд, лыжные курорты? Причина в погоде: рай – это место, где нашему организму не приходится работать на износ для поддержания температуры тела в оптимальном диапазоне. Люди, как и другие гомойотермные животные (млекопитающие и птицы), не способны выдержать отклонение от оптимальной температуры более чем на несколько градусов. Если слишком жарко, мы предпринимаем как рефлекторные, так и сознательные действия: потеем, пьем холодные напитки или прыгаем в бассейн, чтобы охладиться. Если нам холодно, мы ежимся, надеваем свитер, у нас сужаются сосуды. Эти гомеостатические рефлексы и сознательные действия требуют постоянного контроля над температурой окружающего мира, воспринимаемой кожей. Нам нужно знать, когда наша кожа слишком холодная и горячая, так что требуется физиологическая реакция для поддержания температуры в естественных узких рамках. Порог TRPM8 и TRPV1 у человека прекрасно подходит для этой задачи: TRPM8 активируется при температуре ниже 25,5 °C, а TRPV1 – выше 43 °C.

Если пороги активации TRPM8 и TRPV1, отвечающих за восприятие холода и жары соответственно, действительно предназначены для того, чтобы помочь нам поддерживать нормальную температуру тела, можно ожидать, что у животных, чья естественная температура тела отличается от нашей, эти пороги тоже будут иными. И действительно, когда у курицы, крысы и лягушки (гладкой шпорцевой лягушки *Xenopus laevis*) для искусственного получения каналов TRPM8 взяли отвечающий за его продукцию участок ДНК, оказалось, что порог активации TRPM8 у курицы слегка выше – 30 °C, при нормальной температуре 41,7 °C. Лягушка – существо негомойотермное, и ей, соответственно, достаточно чувствовать только сильный холод. Поэтому порог TRPM8 у нее ниже: ген активируется лишь при температурах ниже 19 °C (рис. 5.5).[105]

[104] В Австралии обитает разновидность жуков, летящих на лесные пожары (*Merimna atrata*), чтобы отложить яйца в только что обуглившейся древесине. У австралийской огнецветки четыре инфракрасных сенсора на каждой стороне тела, ближе к задней части. Считается, что южноамериканские кровососущие насекомые – поцелуйные клопы (*Triatoma infestans*) – также способны улавливать инфракрасное излучение жертвы.

[105] Нужно заметить, что TRPV1 и TRPM8 присутствуют не только в нейронах, иннервирующих кожу. Они имеются и в нейронах, которые передают сигналы из глубоких тканей брюшной полости, так что, вероятно, играют роль и в ощущении

Если говорить об ощущении нагрева, то и здесь порог, судя по всему, зависит от температуры тела. Например, у человека TRPV1 активируется при температуре свыше 43 °C, а у полосатой гиреллы – негомойотермной рыбы – уже при 33 °C. Итак, пороги восприятия холода и жары у различных животных не случайны. Они соответствуют условиям терморегуляции, необходимой животным для нормального физиологического функционирования.

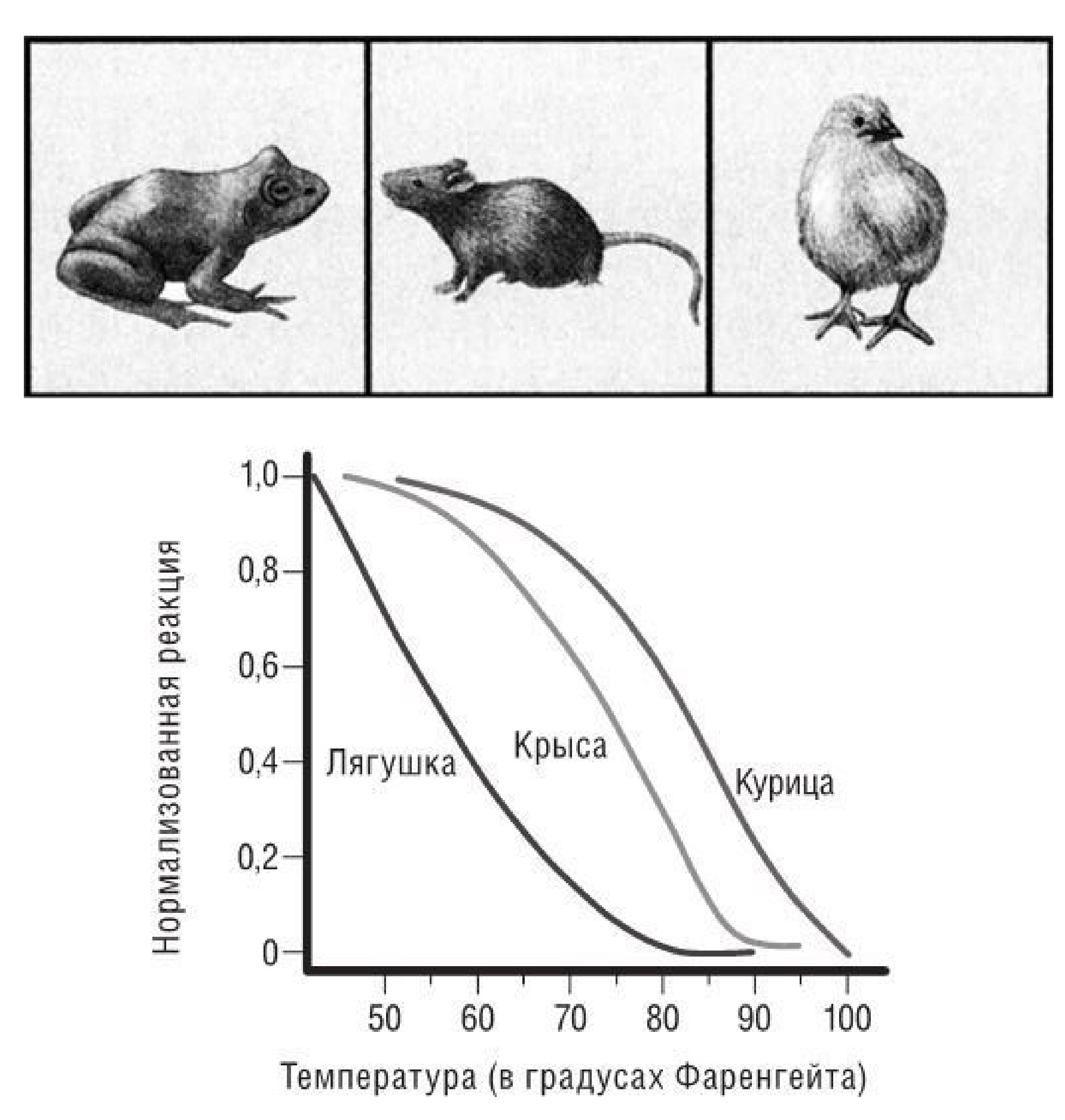


Рис. 5.5. Порог реакции TRPM8 на охлаждение коррелирует с нормальной температурой тела. Эти кривые температурных реакций для искусственно полученных белков TRPM8 лягушки, крысы и курицы. Адаптировано из: Myers B. R., Sigal Y. M., Julius D. Evolution of thermal response properties in a cold-activated TRP channel. PLOS One. 2009. E5741, статья находится в открытом доступе и распространяется по лицензии Creative Commons, которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение при условии указания автора и источника

Много лет назад поздней осенью я гостил в Огайо у бывшей жены своего брата. Когда я проснулся в гостевой комнате на первом этаже, было ужасно холодно. Закутавшись, я пошел

внутренней температуры. Кроме того, TRPV1 (но не TRPM8) присутствует в мозге и может играть роль в обработке им температурной информации.

наверх и проверил термостат. Он был установлен на 11 °C, и хозяйка чувствовала себя вполне комфортно: она разгуливала по кухне в футболке и шортах. На следующий год я привез с собой переносной обогреватель для гостевой комнаты. А один мой друг так сильно топит в доме, что от жары деформируются дверные косяки, и вы не удивились бы, увидев на паркете выбеленные солнцем кости койота.

В чем причина таких экстремальных температурных предпочтений у людей? Мы знаем, что люди с тонким слоем подкожного жира предпочитают более высокую температуру, что вполне понятно с точки зрения терморегуляции. Известно также, что физически более активные люди (даже если вся эта активность сводится к беспокойному ерзанью) благодаря сокращениям мышц производят больше тепла и им подходят более прохладные условия. Отчасти этим можно объяснить, почему дети и подростки не любят надевать пальто. Кроме того, существуют циклические изменения температуры тела в течение дня, а с нею изменяется и предпочтительная температура среды. Но как объяснить индивидуальные расхождения: различаются молекулы, отвечающие за температурное восприятие, или нейронные цепи в коже и головном мозге? Передаются ли температурные предпочтения по наследству? Пока лучший ответ на все эти вопросы – «возможно».

Мы знаем, что различные виды животных могут иметь по нескольку вариантов TRPV1 и TRPM8, настроенных на разные температуры. Также и для крыс, и для людей доказано, что препараты, блокирующие TRPV1, способны привести к перегреву (повышению температуры тела), как и препараты, активирующие TRPM8. Кроме того, у людей встречается редкая рецессивная мутация под названием WNK1/HSN2. Две копии этого мутировавшего гена вызывают тяжелую дегенерацию сенсорных нейронов, но носители мутации в одной копии гена этому не подвержены.

Однако точное измерение порогов выявления жары и холода показало, что у носителей WNK1/HSN2 они оба немного сдвинуты вниз по температурной шкале по сравнению с контрольной группой того же возраста и пола.[106] Впрочем, ожидаемый результат (доказательство того, что генетические вариации в TRPV1 и TRPM8 у человека могут частично отвечать за индивидуальные температурные предпочтения) пока еще не достигнут. Я, конечно, сильно подозреваю, что у бывшей жены моего брата ген TRPM8 как у лягушки, но пока это не доказано.

[106] Существуют и более жесткая генетическая обусловленность восприятия боли – как температурной, так и других типов. О ней мы поговорим в следующей главе.

Глава 6
Боль и эмоции

Один мальчик в свой четырнадцатый день рождения, чтобы удивить друзей, решился на особенно смелый трюк и прыгнул с крыши своего дома в пакистанском Лахоре. Приземлившись, он сразу встал с земли и сказал, что с ним все в порядке, а на следующий день умер от обширного внутреннего кровотечения. Несмотря на серьезные повреждения, он ничем не выказал, что ранен, так что родным и в голову не пришло обратиться к врачу. Неудивительно – ведь это был не обычный мальчик. Его хорошо знали как уличного циркача – он втыкал ножи себе в руку и стоял на горячих углях. Соседи поговаривали, что он не знает страха, потому что вообще не чувствует боли.

Хотя мальчик умер до того, как его успели тщательно осмотреть, последующие исследования Джеффри Вудса, генетика из Адденбрукской больницы в английском Кембридже, выявили еще шесть случаев, когда способность чувствовать боль полностью отсутствовала с самого рождения. Все это были дети из клана Куреши родом из деревень Северного Пакистана. Но поскольку это состояние – результат редкой и случайной генетической мутации, оно может проявиться в любой точке мира.[107] Так, пакистанские семьи, которые изучались Вудсом, эмигрировали в Англию, и во многих из них практиковались близкородственные браки. Никто из этих шести детей за всю жизнь так и не чувствовал боли – ни кожей, ни мышцами, ни в костях, ни во внутренних органах. В детстве они редко плакали. Не то чтобы мужественно переносили боль: судя по всему, они ее вообще не испытывали. Неврологические исследования показали, что у детей было нормальное осязательное восприятие тонких механических стимулов (вибрации, давления, текстуры), незначительного нагревания и охлаждения (но не болезненных температурных экстремумов), они ощущали покалывания и поглаживания. От удара молотком по пальцу они ощутили бы сдавливание, но не боль. А травмированный палец распух бы, но его бы не дергало.

Это свойство удивительным образом ограничивалось именно восприятием боли: у детей были нормальные рефлексы, они полностью контролировали кишечник и мочевой пузырь, не имели очевидных расстройств мышления, настроения или социализации. Когда их просили объяснить значение слова «боль», никто из них не находил подходящего ответа, хотя старшие дети уже знали, какие действия, скорее всего, вызовут боль у других (они даже убедительно симулировали боль после столкновений на футбольном поле, выпрашивая пенальти). Важно, что отсутствие боли физической не сказалось на способности этих детей испытывать боль эмоциональную. Их чувства можно было ранить, в отличие от их тел. Кроме того, они испытывали обычную эмпатию к эмоциональным страданиям других людей.

Кто-то думает, что жизнь без боли – сплошная идиллия. Между тем это не так. Боль появляется в ответ на стимулы, которые вызывают повреждения тканей. Без нее мы не научимся уворачиваться от острых предметов, кипящих жидкостей или разъедающих кожу химикалий. Люди с полной нечувствительностью к боли постоянно получают травмы. Они прикусывают себе язык, ломают кости, перетирают связки и оставляют шрамы на роговице, случайно втирая в глаза мелкий песок. Многие не переживают подросткового возраста. Большинство из них не

[107] Эшлин Блокер – девочка-подросток из Джорджии, которая обладает вызванной примерно той же генетической мутацией, что и в этих британско-пакистанских семьях, врожденной нечувствительностью к боли. Ее родители изо всех сил стараются помочь ей избегать повреждений. Они купили сверхплотный ковер на пол и мебель с закругленными углами и краями. Они пытаются достичь баланса между желанием защитить дочь и ее стремлением к самостоятельности, естественным для подростка. У некоторых людей, страдающих, как и Эшлин, врожденной нечувствительностью к боли, есть проблемы с потоотделением; у других такой особенности нет. Ген SCN9A также экспрессируется в нейронах, которые отправляют к коже сигналы, вызывающие потоотделение и покраснение (расширение сосудов).

погибает при таких драматических обстоятельствах, как тот пакистанец, что прыгнул с крыши. Их смерть чаще всего становится результатом обычного повреждения тканей: плохо подобранные туфли натирают ноги, слишком горячая пища разъедает пищевод, слишком плотно сидящие трусы врезаются в промежность. Им постоянно угрожают бактериальные инфекции, неизбежно следующие за такими повреждениями.

Сканирование мозга пакистанских детей, нечувствительных к боли, не выявило никаких нарушений, как и биопсия икроножного нерва. В отличие от пациентов с норрботтенским синдромом, о которых мы говорили в главе 3, у этих детей оказалось обычное количество различных типов сенсорных волокон – от быстрых волокон А-альфа до медлительных С-волокон. Анализ их ДНК показал, что все шестеро – носители мутаций в одном и том же гене SCN9A, который отвечает за продукцию потенциал-зависимых натриевых каналов, что необходимо для распространения электрических сигналов в нейронах. Но функция гена SCN9A почти полностью ограничена теми нейронами, которые передают информацию о боли от кожи и внутренних органов. (За другие нейроны отвечают другие гены натриевых каналов.) Соответственно, нейроны, которые передают сигналы боли в спинной и головной мозг, присутствуют, но являются электрически нейтральными. Вот почему результаты биопсии икроножных нервов детей показали нормальные значения, несмотря на полное отсутствие у этих детей чувства боли. Когда в лабораторных почечных клетках искусственно экспрессировали мутантный вариант гена SCN9A из ДНК этих пациентов, в них не функционировали никакие натриевые каналы – электрический ток на мониторе отображался в виде прямой линии (рис. 6.1). Пока нет способов восстановить эту функцию, а следовательно, и эффективно вылечить врожденную нечувствительность к боли. Эти мутации рецессивны, так что для наследования заболевания у человека должно оказаться две копии гена SCN9A с соответствующей мутацией – по одной от каждого родителя. Именно поэтому синдром чаще всего встречается там, где практикуются близкородственные браки. Другой тип генетической мутации называется мутацией с приобретением функции. В случае с геном SCN9A такие мутации вызывают нарушение свойств потенциал-зависимых натриевых каналов. Достаточно унаследовать всего один такой мутантный ген, чтобы восприятие боли катастрофически изменилось.

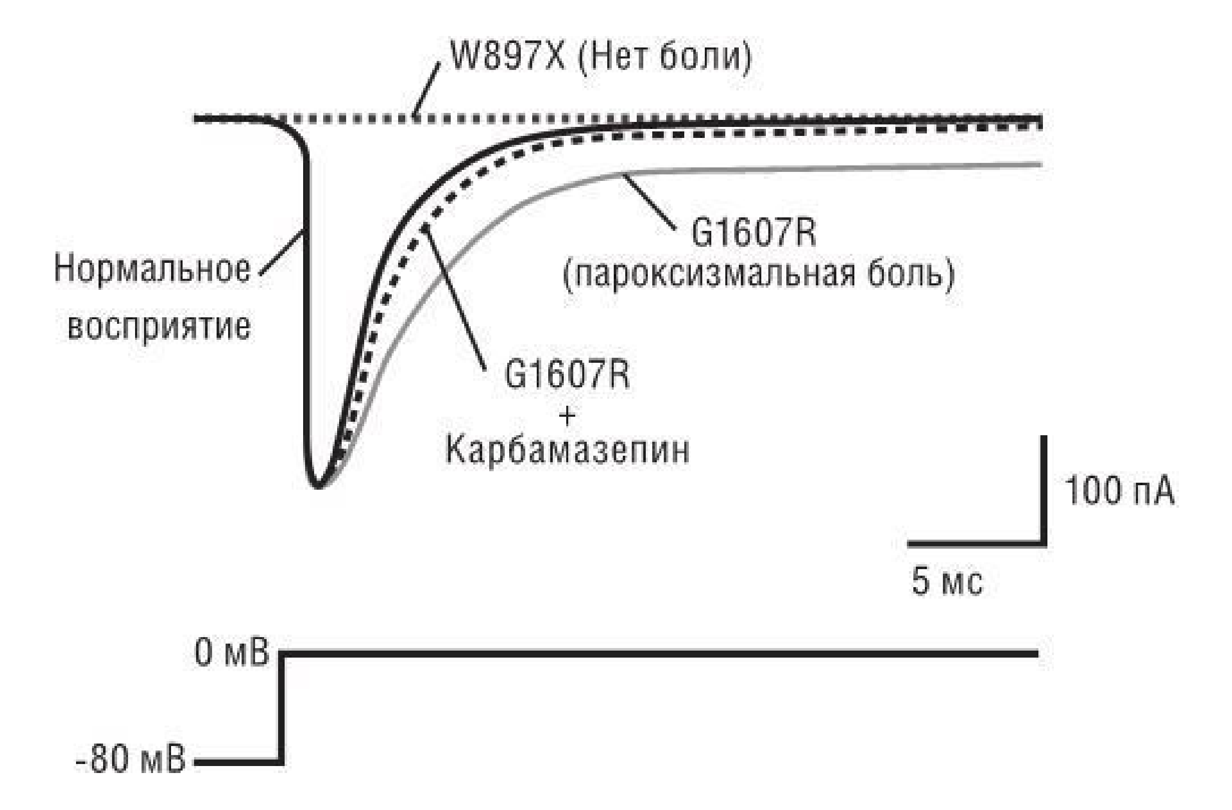


Рис. 6.1. Мутации гена SCN9A вызывают серьезные изменения восприятия боли и потенциал-зависимого натриевого тока. На этом рисунке – результаты работы искусственно введенных в почечные клетки различных мутантных форм гена SCN9A. Электрический ток быстро меняет напряжение клеточной мембраны с –80 милливольт до 0 милливольт, что примерно отражает ситуацию, при которой нейрон посылает электрический сигнал по аксону. Обычный ген SCN9A выдает типичный натриевый ток: краткий приток положительного заряда внутрь, полностью останавливающийся через несколько миллисекунд. Ген SCN9A пациента с врожденной нечувствительностью к боли содержит мутацию W897X, которая полностью прекращает функционирование канала: электрический ток никуда не поступает. Ген SCN9A пациента, страдающего пароксизмальным болевым расстройством, содержит мутацию G1607R. В результате натриевый ток возникает в соответствии с нормой, а деактивируется медленно и не до конца, так что ток идет гораздо дольше обычного. Лекарство карбамазепин частично умеряет этот эффект и полезно при лечении симптомов пароксизмального болевого расстройства. Врожденную невосприимчивость к боли вызывает несколько видов мутаций, но все они в итоге демонстрируют прямую линию на мониторе. Несколько мутаций могут вызывать и синдром пароксизмального болевого расстройства, но все они приводят к неполной деактивации натриевого тока

Все начинается вскоре после рождения, часто с первым сокращением кишечника: ребенок пугается, и на его лице проступает выражение крайнего ужаса. Безутешно рыдая, новорожденный прижимается к взрослому. Тело напрягается и сильно краснеет, а лицо искажает гримаса. Такие приступы могут длиться по нескольку минут и случаться много раз на дню. Часто их вызывает обычное прикосновение ко рту или к анусу: кормление, вытирание рта, установка ректального термометра. Способность новорожденных к общению ограничена, но с возрастом они начинают жаловаться на боль, которая сперва проявляется в области ануса, подбородка или глаз и затем распространяется по всему телу. Эта боль – одновременно жгучая, колющая и разлитая, и, по словам тех, кто ее испытал, ничего мучительнее нельзя и представить. Все матери, страдающие таким расстройством, говорят, что родовые схватки рядом с этой болью – ничто. Большинство из них признаются, что если бы узнали, что их ребенок будет страдать этим синдромом, то прервали бы беременность.[108]

Эта патология получила название пароксизмального болевого расстройства. Его также вызывает мутация с приобретением функции в гене SCN9A. На рис. 6.1 показан натриевый ток от мутантного гена SCN9A, взятого у пациента с этим расстройством. При деполяризации клетки натриевый ток работает нормально, но деактивируется медленно и не до конца. В результате нейроны, отвечающие за восприятие боли, превращаются в автомат со сверхчувствительным спусковым крючком: стимулы, которые побудили бы обычные нейроны к отправке одного-двух электрических сигналов, теперь вызывают настоящую вспышку. Из-за проблем с электрической сигнализацией даже самые невинные стимулы могут привести к приступу очень сильной боли. К счастью, существует лекарство карбамазепин, которое помогает деактивировать потенциал-зависимые натриевые каналы, в том числе и те, что образуются в результате работы гена SCN9A. У некоторых пациентов карбамазепин приводит к полному облегчению, а у многих других снижает частоту и остроту приступов боли.[109]

Но даже без лечения карбамазепином пациенты, страдающие от пароксизмального болевого расстройства, обычно в состоянии жить полной жизнью. У большинства из них есть дети, карьера, нормальная продолжительность жизни. В каком-то отношении это противоречит

[108] Непонятно, почему при этом расстройстве самые уязвимые зоны – челюсти, анус и глаза.

[109] Как и в случае с врожденной нечувствительностью к боли, страдающие от пароксизмального болевого расстройства обладают нормальной нервной структурой и не имеют нарушений мозга. Изменилась именно функция. Отсюда можно извлечь важный урок: многие заболевания не связаны с очевидными структурными изменениями в органах или клетках.

здравому смыслу: если бы вам предложили выбрать между двумя формами мутации SCN9A – одна сделает вас нечувствительным к боли, но почти гарантированно убьет молодым, а другая будет подвергать приступам дикой боли в течение всей сознательной жизни (достаточно длинной), что бы вы предпочли?

Представьте, что вы ходили по дому босиком и ушибли пальцы ноги о ножку массивного стула. Боль проявляется постепенно. Сначала это резкая боль, локализованная в тех пальцах, которыми вы ударились. Она быстро успокаивается, и вы готовы хоть песни распевать, пока не подступит вторая волна пульсирующей рассеянной боли. Первая болевая волна переносится в спинной мозг покрытыми миелиновой оболочкой волокнами А-дельта среднего диаметра, которые передают электрические сигналы со скоростью примерно 110 километров в час, и волокнами А-бета большого диаметра, которые позволяют развивать скорость до 230 километров в час. Вторую волну боли передают С-волокна малого диаметра, транслирующие сигналы гораздо медленнее – на скорости около 3 километров в час. Все участки кожи (и бóльшая часть внутренних органов) пронизаны как быстрыми, так и медленными волокнами, отвечающими за болевые ощущения (рис. 6.2). Разница во времени между первой и второй волнами боли особенно заметна для участков, наиболее удаленных от мозга – например, для тех же пальцев ног. А вот, например, у боли в области лица тоже есть быстрый и медленный компоненты, но перерыв между ними гораздо меньше, так что две волны боли часто неразличимы. Конечно, у более крупных животных такой перерыв выражен еще ярче. Так, если тридцатиметровая динозавриха (например, диплодок) прищемляла себе хвост плывущим по реке деревом, то первая волна боли наступала через секунду, а второй требовалась целая минута, чтобы достичь головного мозга и быть воспринятой.[110]

Первая волна боли быстра, точна и несет смыслоразличительную информацию: она снабжает нас данными, относящимися к непосредственной угрозе, и управляет реакциями. Часто мы уже успеваем убрать ногу и пустить крепкое словцо, но тут накатывает вторая волна боли. Представьте себе, что вы схватили горячую ручку кастрюли. Из-за первой волны боли вы сразу же ее отпускаете, начинаете махать рукой в воздухе, чтобы утихомирить ощущения, но тут подступает вторая волна. Она медленно начинается, медленно заканчивается и плохо локализуется. Боль бывает гудящей, жгучей или пульсирующей. Вторичная боль требует постоянного внимания и мотивирует поведение, которое должно минимизировать дальнейшие повреждения и способствовать восстановлению (например, побуждает беречь больную ногу при ходьбе).

[110] Эти расчеты предполагают, что скорость волокон А-дельта и С-волокон у динозавров примерно совпадала с той, что наблюдается сейчас у птиц – их современных потомков.

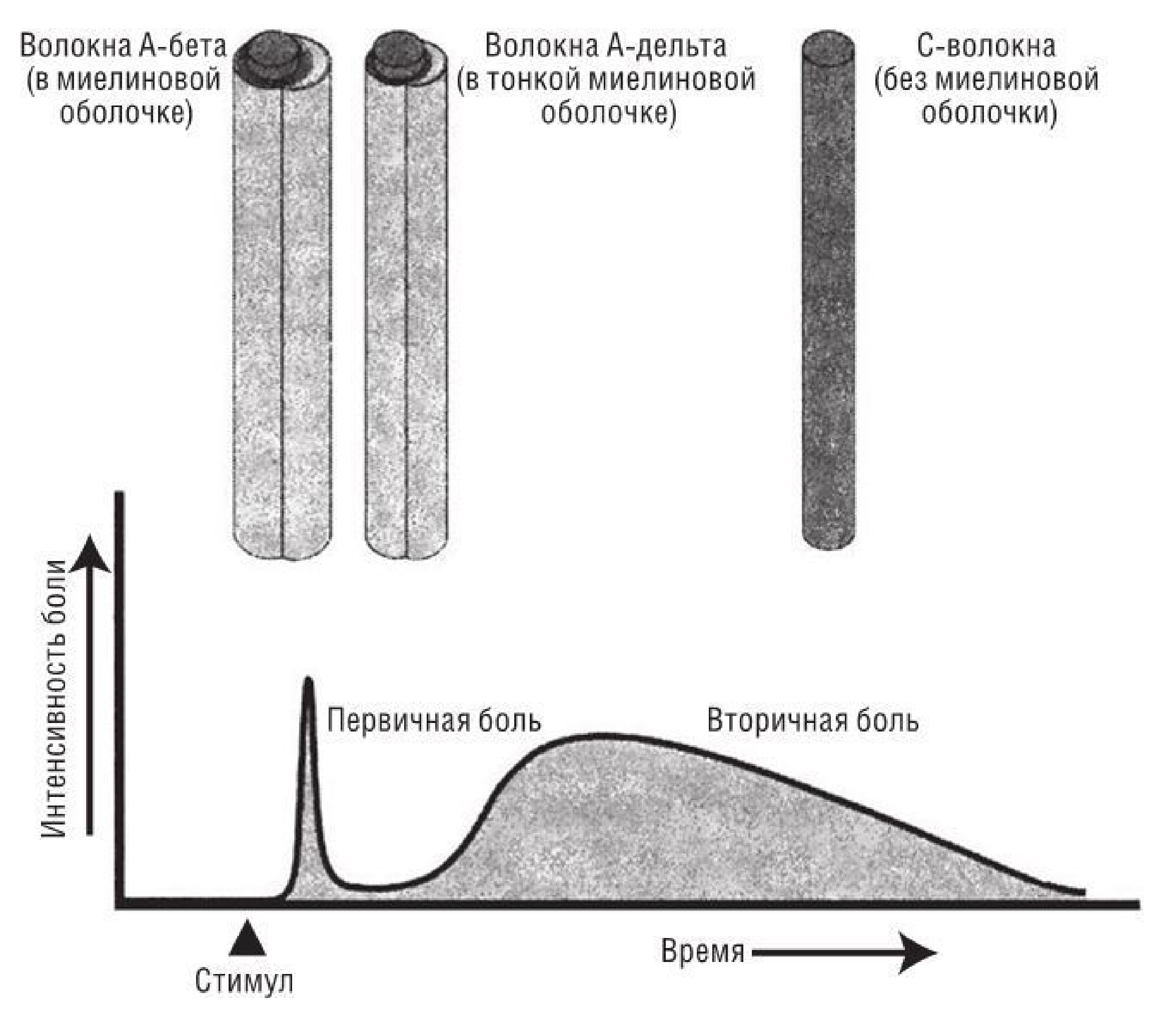


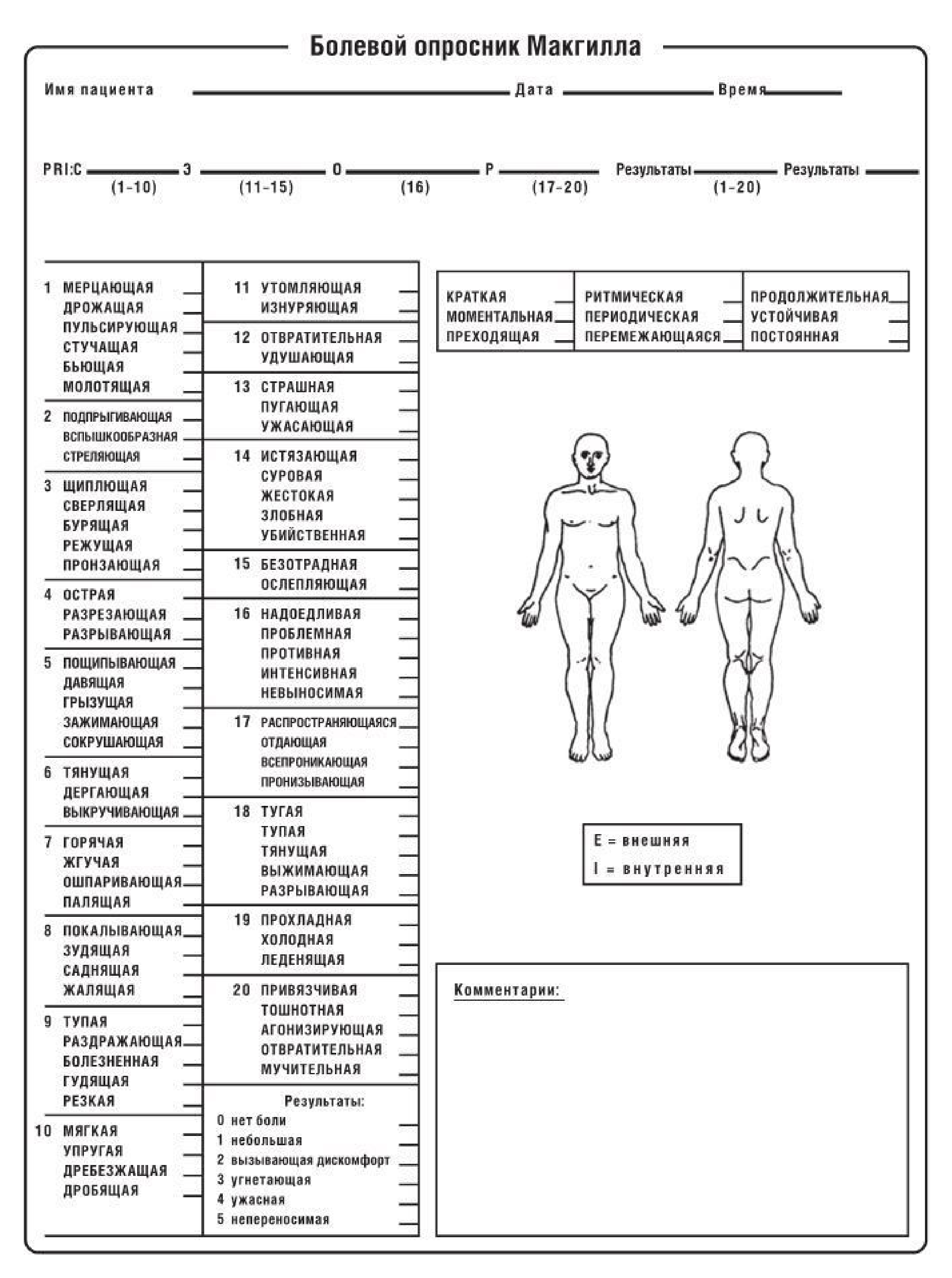
Рис. 6.2. Первичная боль наступает быстро, она хорошо локализована и играет смыслоразличительную роль; вторичная боль рассеяна, имеет эмоциональную нагрузку и большую продолжительность. Первичная боль переносится покрытыми тонкой миелиновой оболочкой волокнами А-дельта среднего диаметра и волокнами А-бета большого диаметра и в плотной миелиновой оболочке, а вторичная – С-волокнами без оболочки. Один из способов это выяснить – перевязка, сжимающая и блокирующая А-волокна, но оставляющая С-волокна свободными. Благодаря ей первичная боль не ощущается, а вторичная остается на своем месте. Если вам интересно, то ген SCN9A работает в болевых нейронах как А-волокон, так и С-волокон, так что у людей с врожденной нечувствительностью к боли отсутствуют и первичная, и вторичная боль, а люди с синдромом пароксизмального болевого расстройства испытывают усиленные болевые ощущения от обеих волн

Боль – это не единичное отчетливое ощущение, даже если вы испытываете ее в определенный момент. Из жизненного опыта мы знаем, что она может обладать различными качествами. Описывая характеристики боли, мы используем такие определения, как *резкая, пульсирующая, мерцающая, жгучая, колющая, тупая, гудящая, острая, жалящая* (рис. 6.3).

Как возникают эти разные типы болевых ощущений? Есть три основных категории болевых рецепторов: механические, термические и полимодальные. Мы предполагаем (но не знаем точно), что конкретные болевые ощущения определяются как протеканием нервной деятельности, так и сравнительной степенью активации каждого типа рецепторов боли, порой в сочетании или в сравнении с неболевыми осязательными сигналами от того же участка тела.

В отличие от рецепторов давления, колебаний, текстуры и ласки, которые имеют специфическую структуру или обладают сложными связями с волосяными луковицами, болевые нейроны имеют простые и незатейливые свободные нервные окончания. Они находятся в эпидермисе кожи. Механические болевые рецепторы легче всего активируются при интенсивном давлении – например, если вы порежете палец ножом, или собьете палец ноги при ходьбе, или прищемите молнией кожу, механические болевые рецепторы начинают посылать сигналы в ваш мозг. Некоторые из этих молекул находятся в свободных нервных окончаниях волокон А-дельта, так что информация будет передаваться быстро. Термические болевые рецепторы тоже находятся в свободных нервных окончаниях другой группы волокон А-дельта; они реагируют на температуры ниже 5,5 °С и выше 46 °С.[111] Существует также особый набор окончаний С-волокон, которые отвечают за более широкий спектр реакций – откликаются на термическую, механическую или химическую стимуляцию (например, при контакте с сильными кислотами и щелочами). Эти полимодальные рецепторы боли запускают вторую болевую волну, и их большая чувствительность к различным типам боли помогает объяснить, почему эта вторичная волна качественно менее специфична, чем первая.

[111] Наши знания о молекулярных рецепторах боли пока весьма неполны. Возможно, TRPV2 и TRPA1 играют роль в ощущении боли от жара и холода, но результаты, полученные в процессе изучения мышей-мутантов, у которых эти рецепторы отсутствовали, неоднозначны. Неизвестно, какой именно молекулярный рецептор отвечает за механическую боль, хотя уже есть несколько интересных кандидатов.



Болевой опросник Макгилла

Имя пациента ______ Дата ______ Время ______

PRI:C ______ (1-10) Э ______ (11-15) О ______ (16) Р ______ (17-20) Результаты ______ (1-20) Результаты ______

1 МЕРЦАЮЩАЯ __
ДРОЖАЩАЯ __
ПУЛЬСИРУЮЩАЯ __
СТУЧАЩАЯ __
БЬЮЩАЯ __
МОЛОТЯЩАЯ __

2 ПОДПРЫГИВАЮЩАЯ __
ВСПЫШКООБРАЗНАЯ __
СТРЕЛЯЮЩАЯ __

3 ЩИПЛЮЩАЯ __
СВЕРЛЯЩАЯ __
БУРЯЩАЯ __
РЕЖУЩАЯ __
ПРОНЗАЮЩАЯ __

4 ОСТРАЯ __
РАЗРЕЗАЮЩАЯ __
РАЗРЫВАЮЩАЯ __

5 ПОЩИПЫВАЮЩАЯ __
ДАВЯЩАЯ __
ГРЫЗУЩАЯ __
ЗАЖИМАЮЩАЯ __
СОКРУШАЮЩАЯ __

6 ТЯНУЩАЯ __
ДЕРГАЮЩАЯ __
ВЫКРУЧИВАЮЩАЯ __

7 ГОРЯЧАЯ __
ЖГУЧАЯ __
ОШПАРИВАЮЩАЯ __
ПАЛЯЩАЯ __

8 ПОКАЛЫВАЮЩАЯ __
ЗУДЯЩАЯ __
САДНЯЩАЯ __
ЖАЛЯЩАЯ __

9 ТУПАЯ __
РАЗДРАЖАЮЩАЯ __
БОЛЕЗНЕННАЯ __
ГУДЯЩАЯ __
РЕЗКАЯ __

10 МЯГКАЯ __
УПРУГАЯ __
ДРЕБЕЗЖАЩАЯ __
ДРОБЯЩАЯ __

11 УТОМЛЯЮЩАЯ __
ИЗНУРЯЮЩАЯ __

12 ОТВРАТИТЕЛЬНАЯ __
УДУШАЮЩАЯ __

13 СТРАШНАЯ __
ПУГАЮЩАЯ __
УЖАСАЮЩАЯ __

14 ИСТЯЗАЮЩАЯ __
СУРОВАЯ __
ЖЕСТОКАЯ __
ЗЛОБНАЯ __
УБИЙСТВЕННАЯ __

15 БЕЗОТРАДНАЯ __
ОСЛЕПЛЯЮЩАЯ __

16 НАДОЕДЛИВАЯ __
ПРОБЛЕМНАЯ __
ПРОТИВНАЯ __
ИНТЕНСИВНАЯ __
НЕВЫНОСИМАЯ __

17 РАСПРОСТРАНЯЮЩАЯСЯ __
ОТДАЮЩАЯ __
ВСЕПРОНИКАЮЩАЯ __
ПРОНИЗЫВАЮЩАЯ __

18 ТУГАЯ __
ТУПАЯ __
ТЯНУЩАЯ __
ВЫЖИМАЮЩАЯ __
РАЗРЫВАЮЩАЯ __

19 ПРОХЛАДНАЯ __
ХОЛОДНАЯ __
ЛЕДЕНЯЩАЯ __

20 ПРИВЯЗЧИВАЯ __
ТОШНОТНАЯ __
АГОНИЗИРУЮЩАЯ __
ОТВРАТИТЕЛЬНАЯ __
МУЧИТЕЛЬНАЯ __

Результаты:
0 нет боли __
1 небольшая __
2 вызывающая дискомфорт __
3 угнетающая __
4 ужасная __
5 непереносимая __

КРАТКАЯ __	РИТМИЧЕСКАЯ __	ПРОДОЛЖИТЕЛЬНАЯ __
МОМЕНТАЛЬНАЯ __	ПЕРИОДИЧЕСКАЯ __	УСТОЙЧИВАЯ __
ПРЕХОДЯЩАЯ __	ПЕРЕМЕЖАЮЩАЯСЯ __	ПОСТОЯННАЯ __

E = внешняя
I = внутренняя

Комментарии:

Рис. 6.3. Опросник Макгилла был разработан доктором Рональдом Мельзаком, намеревавшимся описать разнообразие болевых ощущений в клинических условиях. Группы 1–10 – сенсорные описания, группы 11–15 – эмоциональные, группа 16 – оценочные. Группы 17–20 разнообразны и включают аспекты всех трех остальных категорий. Печатается с разрешения © R. Melzack, 1975

Клеточные тела А- и С-волокон, которые переносят болевые сигналы, располагаются в спинномозговых ганглиях и поступают в область спинного мозга, которая называется спинным рогом (рис. 6.4). Это напоминает анатомию сенсорных нервов, ответственных за тонкое

осязание и ласку, о чем говорилось в главах 2 и 3. Болевые С-волокна и волокна А-дельта устанавливают возбуждающие связи с нейронами, расположенными в спинном роге. В нем есть несколько слоев, где находятся нейроны, получающие осязательную информацию разного типа: о проприоцепции (ее передают сверхбыстрые волокна А-альфа), о тонких механических ощущениях (быстрые волокна А-бета), о ласках (за нее отвечает другой тип медленных С-волокон) и о боли.

Для наших целей необязательно подробно разбираться в анатомии этих слоев. Однако стоит помнить о важном общем принципе: если потоки различных типов осязательных стимулов (боль, тонкие прикосновения, ласки и т. д.) по большей части отделены друг от друга при следовании от спинного мозга в головной, бывают примечательные случаи смешения сигналов.[112] Например, один из типов нейронов в спинном роге – так называемый нейрон широкого динамического диапазона – объединяет в себе болевую и смыслоразличительную информацию. Такое сочетание боли с неболевыми сигналами в спинном мозге – возможная причина того, почему, если потереть ушибленный локоть, боль иногда на время прекращается.

[112] Откуда мы знаем, что различные типы информации о боли на ранних стадиях болевых сигналов передаются в основном отдельно друг от друга? Одно из доказательств – эксперименты на мышах, у которых сенсорные нейроны с TRPV1 были намеренно удалены. Эти мыши полностью потеряли ощущение боли от нагрева, но ни болезненный холод, ни реакция на механическую боль никуда не делись. И наоборот: намеренное разрушение набора нейронов с геном MrgprD приводит к отсутствию механической боли, а чувствительность к жаре остается прежней.

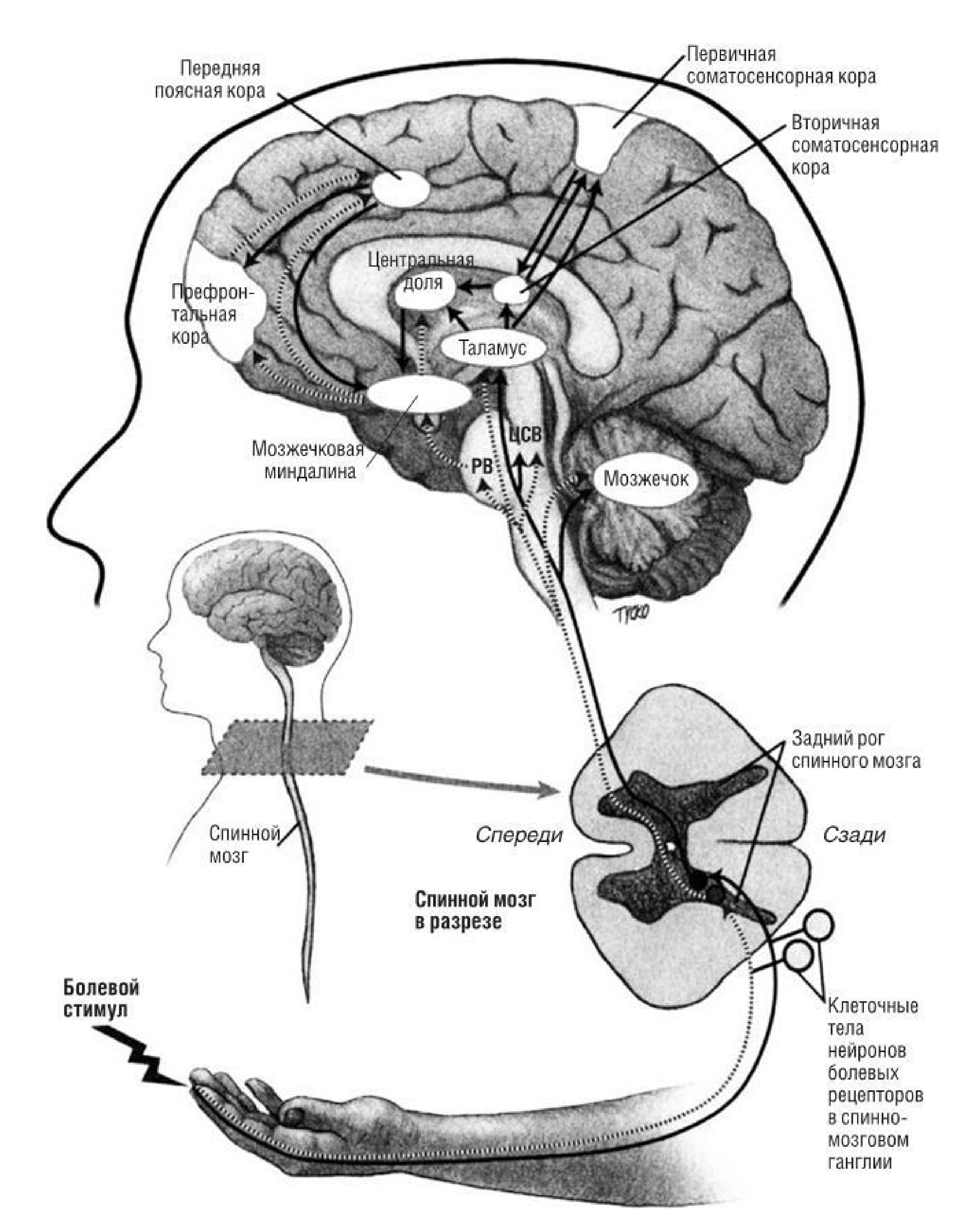


Рис. 6.4. Два основных способа передачи информации о боли в головной мозг. Быстрый путь передачи смыслоразличительных болевых данных (сплошные черные стрелки) по большей части проходит по спинобугорному пути через таламус, задействуя первичную и вторичную соматосенсорную кору. Медленный аффективно-эмоциональный путь (пунктирная линия) частично проходит по спиномезэнцефалическому пути, по ядру Келликера – Фюзе и попадает в мозжечковую миндалину, центральную долю и переднюю поясную кору. © 2013 Джоан Тикко

Интеграция в нейронах широкого динамического диапазона разных типов болевых сигналов со временем способна привести к осязательным иллюзиям. Например, некоторые такие

нейроны в спинном роге получают информацию о боли и от кожи, и от внутренних органов. Больные стенокардией (недостаточным притоком крови к сердечной мышце) часто чувствуют боль как будто бы в левой руке, хотя она и не повреждена. Эта рефлекторная боль – яркая иллюстрация общего принципа: мы не всегда способны точно расшифровать сигналы чувственного мира. В данном случае структурная схема спинного мозга такова, что порождает путаницу. Отсюда возникает вопрос: есть ли какие-то преимущества в том, что болевые сигналы перепутываются и порождают двусмысленность? Ответ краток: мы не знаем.

За регистрацию боли не отвечает какой-то определенный участок мозга. Восприятие боли распределено между несколькими зонами, каждая из которых отвечает за свой участок (рис. 6.4). Существует по меньшей мере пять нервных путей, которые переносят информацию от нейронов заднего рога спинного мозга, но мы сосредоточимся лишь на трех.[113] Первый из них – спиногипоталамический путь, который активирует гипоталамус – структуру в основании мозга. Эта структура вносит быстрые подсознательные изменения, вызванные болью, в сердечные ритмы, температуру тела, дыхание, сокращения мышц и выделение гормонов. Волокна второго пути – спинобугорного – тоже начинаются от нейронов заднего рога спинного мозга, пересекают срединную линию, поднимаются по спинному мозгу и формируют синапсы в таламусе. Нейроны таламуса, в свою очередь, образуют волокна, направленные в первичную и вторичную соматосенсорную кору. Если поместить в спинобугорный путь электрод и ненадолго активировать волокна, это вызовет хорошо локализованные, четко определенные болевые ощущения.

Сканирование мозга при болевых стимулах показало, что первая волна боли прежде всего коррелирует с активацией спинобугорного пути и зон, где он кончается, – первичной и вторичной соматосенсорной коры. Вторичная болевая волна наиболее четко ассоциируется с активацией третьего восходящего пути – так называемого спиномезэнцефалического, который активирует ядро Келликера – Фюзе в мозговом стволе, а через другие синаптические передачи – центральную долю, мозжечковую миндалину и переднюю поясную кору.[114] Чем так важны эти анатомические детали? Дело в том, что зоны, к которым ведет спиномезэнцефалический путь, отвечают в мозге за эмоциональные и когнитивные болевые реакции. Их активация не связана с точной локализацией боли или ее качеством, а скорее придает боли характерный для нее негативный эмоциональный фон. Кроме того, болезненные ощущения таким образом интегрируются с другой информацией о ситуации: я в безопасности или под угрозой? Эта боль ожидалась или стала неожиданностью? Каковы ее ближайшие последствия?[115]

Мы считаем боль по определению неприятной. Описывая ее, мы используем такие слова, как жестокая, суровая, невыносимая (см. опросник Макгилла с рис. 6.3). Мы не воспринимаем боль как последовательность сенсорных и эмоционально-аффективных компонентов: для нас это единое неприятное ощущение. Эмоциональная и сенсорная компонента находятся в нерасторжимом единстве. Однако при определенных типах нарушения мозговой деятельности пациенты могут разграничивать разные компоненты боли.

Повреждение боковой части таламуса и первичной и вторичной соматосенсорной коры приводит к синдрому потери смыслоразличительного компонента болевого стимула. Удиви-

---

[113] Среди иных болевых путей можно указать тот, который активирует мозжечок, отвечающий за мелкую моторику и подсознательный упреждающий контроль движений.

[114] Как видно по рис. 6.4, передняя поясная кора и центральная доля могут активироваться двумя разными способами – непосредственно через таламус или посредством вторичной соматосенсорной коры, так что спиномезэнцефалический путь – не единственный способ активации этих эмоциональных болевых центров.

[115] Большинство режимов сканирования мозга недостаточно быстры, чтобы отразить разницу между первичной и вторичной болью, но есть метод, именуемый магнитоэнцефалографией. В первом эксперименте, который четко выявил разницу в активации мозга при первичной и вторичной боли, лазерный луч был направлен на тыльную сторону ладони, что создавало устойчивое неразрушающее болезненное воздействие, которое считывалось при помощи магнитоэнцефалографии.

тельно, но люди с таким расстройством в состоянии описывать неприятную эмоциональную реакцию на болевой стимул, но совершенно не способны рассказать о качествах боли (жгучая или леденящая, острая или тупая) и даже определить место болезненных ощущений в организме. Наоборот, повреждение задней центральной доли или задней части передней поясной коры – основных узлов аффективно-эмоциональной болевой цепочки – может привести к состоянию так называемой болевой асимболии. Эти пациенты способны точно описывать качества и свойства боли, ее интенсивность и локализацию, но у них отсутствует отрицательная эмоциональная реакция на боль, столь естественная для большинства людей. Поскольку болевые асимболики не воспринимают деструктивное значение боли, они медленно избавляются от болезненных стимулов. Они чувствуют боль, но она их, кажется, вообще не беспокоит:

> Пациентка, которую укололи в правую ладонь, радостно улыбается, слегка вздрагивает и потом говорит: «Ой, больно». Выражение лица при этом у нее самое что ни на есть спокойное. То же выражение сохраняется и при уколах в области лица и живота. Когда же ее колют в подошвы, она начинает улыбаться, явно испытывая приятные ощущения.[116] Болевые асимболики – не мазохисты; они как раз прямая противоположность мазохистов, для которых боль обладает глубоким эмоциональным значением.

Болевые асимболики не наслаждаются болью и не ищут ее. Нельзя и назвать их рассеянными и невнимательными. Боль просто не вызывает у них никакого эмоционального резонанса – ни положительного, ни отрицательного.

Боль по сути своей эмоциональна и негативна, точно так же, как оргазмы по сути своей эмоциональны и позитивны. И нормальное восприятие оргазма, и нормальное восприятие боли требуют почти одновременной активации нескольких участков мозга, которые вырабатывают ощущения, воспринимаемые нами как единое целое. И в боль, и в оргазм вовлечены как первичная и вторичная соматосенсорная кора, отвечающая за смыслоразличение, так и область, ответственная за эмоционально-аффективную окраску, и задняя центральная доля, передняя поясная кора и связанные с ними области, ответственные за боль, и вентральная область покрышки, и зоны, в которые направляются оттуда дофаминовые нейроны – переносчики удовольствия. Без эмоциональной компоненты и боль, и оргазм станут заурядным опытом, оставляющим нас равнодушными.

В детстве загорание казалось мне магией. Я проводил целый день на пляже, валяясь на солнцепеке и кувыркаясь в волнах. И вечером жар солнечных лучей следовал за мной домой, пойманный моей кожей; он не давал мне заснуть, потому что и прикосновение постельного белья, и струя горячего душа казались невыносимыми. Обгорание вызывает аллодинию – болезненное ощущение в ответ на обычно безобидные осязательные стимулы, как, например, легкое поглаживание обгоревшей кожи. Аллодиния во многом похожа на другую форму устойчивой боли – так называемой спонтанной боли, которая возникает при отсутствии воздействия вообще каких-либо стимулов. Повреждения тканей при аллодинии и спонтанной боли имеют две ключевые особенности. Во-первых, при этих формах устойчивой боли происходит генерализация: повреждение тканей при обгорании, например, вызывает не только усиление чувствительности к нагреванию, но и к механическим стимулам. Если вы при готовке ошпарите подушечку большого пальца и попытаетесь взять ручку и начать что-то писать, этот невинный механический стимул тоже вызовет боль. Во-вторых, воспаление, которое происходит в ответ на повреждение тканей (в том числе распухание, покраснение, ощущение жара), не будет четко ограничено поврежденным участком, а распространится немного сильнее. Например, если вы

[116] Schilder P., Stengel E. Schmerzasymbolie // Zeitschrift für die gesamte Neurologie und Psychiatrie 113. 1928. 143–158. (В этой работе был впервые описан синдром Шильдера—Штенгеля, или болевая асимболия. – *Ред.*)

опять-таки ошпарили подушечку большого пальца, воспалиться на несколько дней рискует весь палец; аллодиния и спонтанная боль могут распространиться даже на ближайшие к нему участки.

Воспаление и устойчивую боль, ассоциирующуюся с ним, вызывает сложный комплекс химических сигналов, получивший название воспалительного супа (рис. 6.5). При повреждении ткани пострадавшие клетки выделяют соединения-простаноиды, которые воздействуют на рецепторы класса TRPV1 на окончаниях болевых С-волокон. Поврежденные ткани также активируют красные кровяные тельца – тучные клетки и макрофаги, выделяющие соединение брадикинин. Оно, как и простаноиды, снижает температурный порог активации TRPV1 с жарких 43 °C до обычно безвредных 30 °C (о чем говорилось в главе 5). Другие соединения, выделяемые макрофагами (белки ФНО-альфа и фактор роста нервной ткани), тоже усиливают чувствительность болевых волокон типа С. Активированные тучные клетки выделяют гистамин, который расширяет кровеносные сосуды и слегка увеличивает их поры, что способствует усиленному оттоку плазмы крови и приводит к повышению температуры, покраснению и распуханию близлежащих тканей.

Изначально считалось, что нервные волокна – это только реципиенты болезненных химических сигналов, сейчас же хорошо известно, что окончания болевых С-волокон тоже посылают сигналы, что приводит к установлению цепи положительной обратной связи. Нервные окончания выделяют молекулу кальцитонин-ген-связанного пептида (SGRP), способствующую расширению кровеносных сосудов и просачиванию плазмы. Выделяется и другая молекула – так называемая субстанция Р, которая активирует тучные клетки. Постоянное протекание химических сигналов по поврежденной ткани, белым кровяным тельцам, кровеносным сосудам и болевым С-волокнам – одна из причин того, что боль и воспаление сохраняются несколько дней и даже недель после травмы. Поскольку химические сигналы могут распространяться в соседние здоровые ткани и запускать там новые сигналы, распухание и повышенная болевая чувствительность способны распространяться, но довольно ограниченно: хотя травма большого пальца может привести к тому, что у вас опухнет и будет болеть кисть, при отсутствии инфекции это состояние едва ли затронет всю руку (рис. 6.5).

Многие наши наиболее эффективные лекарства для снятия боли и воспаления воздействуют на химические сигналы воспалительного супа. Аспирин, ацетаминофен (тайленол) и ибупрофен подавляют выработку простаноидов. Антигистаминные препараты блокируют действие гистамина на рецепторы в нервных окончаниях и кровеносные сосуды. В последние годы появились лекарства, взаимодействующие с сигналами ФНО-альфа, и произвели революцию в области лечения боли при ревматическом артрите. Большие надежды в плане облегчения постоянной боли возлагают на лекарства, препятствующие воздействию фактора роста нервной ткани. Сейчас проводятся их клинические испытания, но, судя по всему, они ускоряют дегенерацию связок, так что не вполне понятно, насколько эффективными они окажутся.[117] Соединения, извлекаемые из ананаса и алоэ, способны подавлять действие брадикинина. Возможно, их удастся использовать для лечения или как образец при разработке лекарств, блокирующих брадикинин: допустим, анализ структуры этих естественных соединений позволит их создать. Разработка лекарств для борьбы с дополнительными компонентами воспалительного супа по-прежнему остается очень важной задачей.

[117] Возможно, лечение, направленное на борьбу с фактором роста нервной ткани, будет эффективно, но лишь для тех пациентов, для которых выгода от освобождения от боли перевесит отрицательные последствия ускоренной дегенерации суставов.

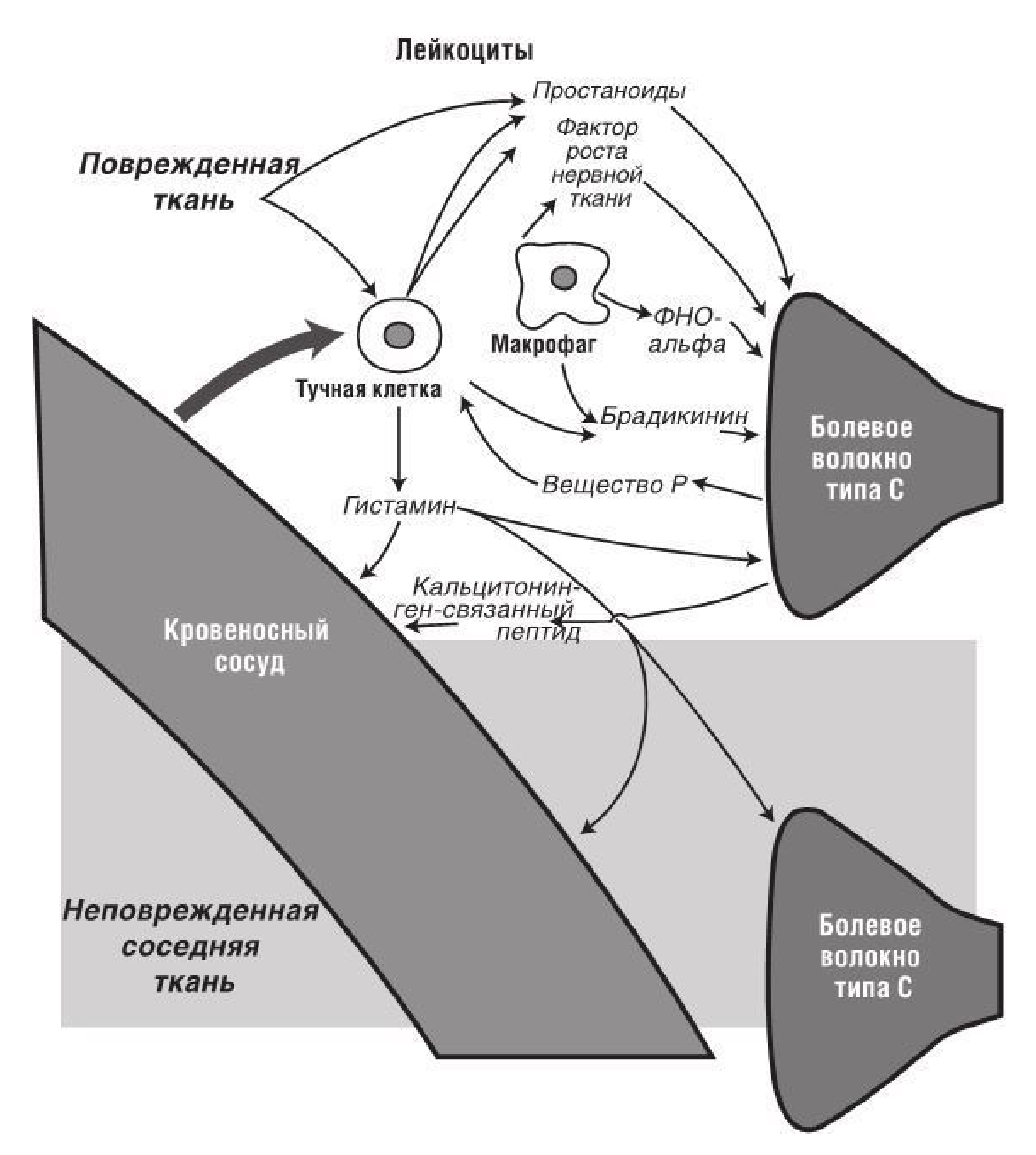


Рис. 6.5. Повреждение ткани приводит к образованию воспалительного супа из химических веществ. Некоторые из них выделяет сама поврежденная ткань (как кератиноцитовые клетки кожи), другие производятся лейкоцитами (макрофагами и тучными клетками), третьи выделяются ответственными за восприятие боли С-волокнами. В результате образуется цикл положительной обратной связи, который поддерживает и усиливает боль и воспаление. Частично это связано с распространением сигнальной молекулы гистамина. Болеутоляющие и противовоспалительные средства часто блокируют определенные части этой сети химических сигналов. Диаграмма кажется сложной – и она действительно сложна, хотя на ней показаны далеко не все дополнительные компоненты воспалительного супа

У Фрэнсиса Макглоуна, знаменитого британского исследователя тактильного восприятия, есть любимый вопрос: «Почему есть хроническая боль, но не существует хронического удовольствия?» Вопрос хороший. Мы уже отмечали, что боль необходима для побуждающего поведения, которое сводит к минимуму повреждения тканей, и что люди, не воспринимающие боль, редко доживают до взрослого возраста. Но боль зачастую длится куда дольше необходи-

мого и продолжает мучать людей даже после заживления поврежденных тканей – порой всю жизнь.

Постоянную боль вызывают не только изменения в окончаниях болевых нервных волокон. Изменения происходят и в синапсах в спинном мозге, где эти волокна вступают в контакт с нейронами заднего рога спинного мозга. Когда в нервные окончания чувствительных к боли С-волокон поступают электрические сигналы, образуется возбуждающий нейромедиатор глутамат. Он проникает сквозь крошечную синаптическую щель между двумя нейронами и поступает в рецепторы глутамата в нейроне заднего рога спинного мозга, тем самым распространяя болевые сигналы по спинному мозгу и в конечном счете в головной мозг. При постоянном стимулировании этого синапса, как в случае постоянной боли, он становится сильнее и эффективнее. Это происходит по ряду причин, в том числе из-за усиления выработки глутамата, увеличения количества рецепторов глутамата в нейронах заднего рога спинного мозга, а также изменений в потенциал-зависимых ионных каналах нейронов заднего рога спинного мозга, способствующих постоянной генерации электросигналов.[118] Эти изменения способны сохраняться очень долго, подобно воспоминаниям. (И действительно, полагают, что некоторые изменения на молекулярном и клеточном уровне, отвечающие за кодирование воспоминаний в мозге, сходны с теми, которые лежат в основе этой формы хронической боли, берущей начало в спинном мозге.) Даже когда воспалительный ответ кожи (или любой другой ткани) полностью прекращается и возвращается нормальная чувствительность нервных окончаний кожи к боли, изменения в спинном мозге могут сохраняться в течение нескольких месяцев или даже лет. Было бы невероятно полезно найти способ избирательного ослабления этих передающих боль синапсов в заднем роге спинного мозга. Неудивительно, что исследования в этой отрасли ведутся весьма активно.

Один из особенно трудно поддающихся лечению случаев устойчивой боли – это фантомные боли конечностей. После ампутации примерно 60 % пациентов испытывают ощущение хронической боли в удаленной конечности. Иногда она кажется гудящей, в других случаях ее описывают как жгучую. Этот феномен чаще всего наблюдается, когда ампутация проводится во взрослом возрасте. Он с равной вероятностью возникает и при хирургическом удалении, и при потере конечности в результате травмы. Изначально считали, что фантомная боль конечности вызывается поврежденными нервными окончаниями в культе, но ни хирургическое вмешательство в этой области, ни местные анестетики не приводили к облегчению.

Вероятно, что по крайней мере частично фантомная боль конечности – результат постоянного усиления деятельности возбуждающих синапсов нейронов болевых волокон и заднего рога спинного мозга. Многие годы ампутационная хирургия проводилась исключительно под общим наркозом. При этом болевые сигналы направляются с периферии в задний рог спинного мозга, но блокируются на более поздних стадиях, не попадая в мозг. Вероятность возникновения фантомной боли слегка уменьшается, когда, помимо общего наркоза, используются местные анестетики, вызывающие онемение ампутируемой области перед ампутацией и во время ее, так что болевые сигналы не достигают и заднего рога спинного мозга. Лекарства для подавления постоянного усиления (долговременной потенциации) синапсов, поступающие в нейроны заднего рога спинного мозга, также, по последним данным, несколько снижают вероятность появления фантомных болей.[119]

Если синапсы, передающие болевую информацию в спинной мозг, постоянно усиливаются, то изменяются и сигналы, которые отправляют в головной мозг нейроны спинного; меняется и состояние самого головного мозга. В каком-то смысле ситуация очень напоминает то,

[118] Помимо постоянного нарастания боли в синапсах спинного мозга, вызванной повреждением тканей, происходит еще ряд изменений в заднем роге спинного мозга, причиной чего являются повреждения сенсорных нервов.

[119] Эти лекарства называются антагонистами NMDA-рецептора (аббревиатура расшифровывается как N-метил-D-аспартат). Это один из нескольких типов рецепторов возбуждающего нейромедиатора глутамата.

о чем шла речь в главе 2, когда отображение руки, пальцы которой используются при игре на струнных инструментах, у опытных музыкантов со временем значительно увеличивалось. У пациентов, испытывающих боли в фантомной конечности, на осязательной карте в первичной соматосенсорной коре порой увеличивается отображение как соответствующей конечности, так и некоторых других участков. У ампутантов, не страдающих от таких хронических болей, изменений в отображении органов не наблюдается.[120]

13 апреля 2003 года рядовой Дуэйн Тернер, военный медик армии США, вместе с небольшим отрядом подвергся нападению во время разгрузки припасов для временного медицинского центра примерно в 50 километрах к югу от Багдада. Давая через несколько месяцев интервью об этом дне, Тернер вспоминал:

> …Кто-то перебросил гранату через стену, а я и еще несколько парней оказались в самом центре взрыва. Я побежал к кабине грузовика, увидел раненых, сел на землю и постарался оценить ситуацию, потому что все было далеко не кончено. Я подумал: «О боже, ребята падают, и уж нет, я их там не оставлю». Надо было делать свое дело, и я приступил… Я знаю этих парней. Я знаю их как облупленных, мы вместе едим, вместе спим, да и вообще не хотите же вы, чтобы кто-то умер у вас на глазах. Они мне почти как братья. На войне все мы – члены одной семьи. А ведь будь там мой родной брат, я бы все сделал, чтобы его спасти.

Шрапнель из гранаты попала Тернеру в правую ногу, бедро и живот, но это его не остановило. Он несколько раз выбегал из укрытия, хватал раненых товарищей и оттаскивал их в безопасное место. Тем временем его ранили еще два раза: одна пуля попала в левую ногу, другая поразила кость в правой руке. Но он словно не замечал, что в него попали.

> Кругом свистели пули, но я думал, что все они пролетают мимо, попадают в землю, а в меня летит пыль или камни, поднятые выстрелами, потому что кое-где я чувствовал легкие уколы. Но это все, что я чувствовал, пока кто-то не сказал мне: «Док, док, ты истекаешь кровью». Это был не я – не я, а кто-то другой. Ранили словно бы не меня – и все-таки меня.

Рядовой Тернер в итоге потерял сознание от потери крови, но уже через несколько минут его пришлось удерживать: он собирался вернуться и продолжать вытаскивать солдат из-под огня. Позднее его вместе с другими ранеными эвакуировали на вертолете. Он был награжден за отвагу Серебряной звездой: сообщалось, что своими действиями он спас жизни двенадцати солдат.

Хотя в пылу битвы рядовой Тернер не обращал внимания на боль от шрапнели и даже не сознавал, что ранен, стоит отметить (это никак не приуменьшает его героизма), что способность игнорировать тяжелые раны в ходе битвы не столь уж необычна. Подполковник Генри Бичер собрал статистику о боли у раненых солдат, которых он лечил в ходе высадки союзников в Италии и во Франции во время Второй мировой войны. Он писал, что около 75 % серьезно раненных утверждали, что почти не испытывают боли, и отказывались на поле боя от болеутоляющих. Но через несколько дней, восстанавливаясь в госпитале, те же люди яростно возмущались, если у них неаккуратно брали кровь из пальца, как сделал бы на их месте любой другой. Солдаты – это не сверхлюди с абсурдно высоким болевым порогом. Это обычные люди, оказавшиеся в экстраординарных ситуациях, где когнитивный и эмоциональный стресс от сражения притупляет боль.

---

[120] Непонятно, все ли изменения в соматосенсорной коре, связанные с фантомными болями, являются исключительно последствиями процессов, происходящих в спинном мозге, или имеют другую природу.

Когда меня в пять лет вели к педиатру на обычную прививку, я воспринимал это как смертный приговор. Мое сердце, как у собаки Павлова, билось тем сильнее, чем ближе мамина машина подъезжала к поликлинике. Светлые деревянные панели в больничном коридоре, постукивание маминых каблуков по кафельному полу, запах ваты, пропитанной спиртом, – все напоминало мне о предыдущем ужасном уколе. Во время процедуры я так пристально смотрел на маленький участок кожи на своей левой руке, что глаза вылезали из орбит. Укол воспринимал, как будто бы меня ударили огромным ножом и еще провернули его внутри. Когда я стонал от боли, доктор сухо отмечал: «Ну и артист – Сара Бернар отдыхает».

В детстве у меня было много телесных повреждений, столь же или даже более болезненных, – от ссадин на коленках до сотрясения мозга. Но их я получал неожиданно, и поскольку к ним не готовился, то и заботили они меня мало. А вот краткая и незначительная боль от укола заметно увеличивалась из-за нарастающего ожидания ужаса и воспоминаний о предыдущих болезненных инъекциях.

Истории о героизме в битвах и мелодраме у педиатра показывают, как когнитивные и эмоциональные факторы притупляют или усиливают восприятие боли. Следует ли понимать эти когнитивные и эмоциональные изменения восприятия как результат действия распределенной сети центров обработки боли в головном мозге? В целом ответ скорее положительный, но многое еще предстоит уточнить. Одна из ключевых идей состоит в том, что мозг может посылать сигналы к передающим боль нейронам заднего рога спинного мозга. Эти сигналы либо требуют: «Громче!» – либо предлагают заткнуться и больше информацию о боли не передавать. Поразительно, что *мозг осуществляет контроль над информацией, которая в него поступает*. Он не просто собирает все данные и затем выбирает подходящие ощущения и реакции на основе текущего эмоционального или когнитивного состояния; благодаря нисходящим нервным волокнам он именно *контролирует* сенсорную информацию, которую получает из спинного мозга. Это странное и, казалось бы, противоестественное положение вещей. Мозг каждую секунду активно и подсознательно подавляет или усиливает информацию о боли. Можно сказать, что он подает ее под нужным углом. Осознание того, что во многих случаях информация, которую мы получаем, – это результат самоцензуры, способно серьезно обеспокоить тех из нас, кто предпочитает думать, что мы обладаем доступом к подлинной реальности и именно на ее основании принимаем рациональные решения.[121]

Как видно, информация как из смыслоразличительных, так и из аффективно-эмоциональных участков сети обработки боли, существующей в мозге, сходится в нескольких зонах. Это передняя поясная кора, центральная доля, префронтальная кора и мозжечковая миндалина. Затем из этих зон сигналы поступают в структуру мозгового ствола, которая называется центральным серым веществом мозга (рис. 6.6) и, в свою очередь, возбуждает другие структуры мозгового ствола: голубое пятно и продолговатый мозг.[122] Из этих последних участков аксоны направляются в задний рог спинного мозга, где формируются синапсы, которые либо подавляют, либо усиливают сигналы от периферических болевых волокон. В продолговатом мозге имеются особые «включающие» клетки, которые усиливают сигнал, и «выключающие», которые ослабляют болевые сигналы. Повышение активности включающих клеток ускоряет передачу болевых сигналов в спинном роге и усиливает болевые ощущения, а повышение

[121] В данном случае мозг напоминает мне администрацию Джорджа Буша-младшего. Когда она слышит о глобальном потеплении, то отправляет сигнал в НАСА: «Заткнитесь! Не хотим об этом знать!» Если же она улавливает шепоток об оружии массового поражения в Ираке, то сигнализирует ЦРУ: «Подробнее! Громче!»

[122] Если вас интересует, как структуры мозга получают свои названия, то ответ – в хаотичном порядке. Первые анатомы иногда называли структуры по цветам (голубое пятно) или расположению: периакведуктальное серое вещество – это просто серое вещество, окружающее «акведук» – узкий канал, по которому жидкость проходит через сердцевину мозгового ствола.

активности выключающих клеток обладает противоположным эффектом. [123] Эта цепь и позволяет мозгу приглушать и усиливать входящую информацию о боли.

[123] Действия нейронов продолговатого мозга и голубого пятна, направленные на изменение передачи болевых сигналов в спинном мозге, довольно сложны, и мы не обладаем полнотой знаний о них. Некоторые нисходящие соединения принимаются пресинаптическими терминалами аксонов периферических нейронов, передающих боль, другие поступают прямо на нужные места заднего рога спинного мозга, еще один тип поступает на промежуточные нейроны, которые сами вырабатывают энкефалины. Нейроны голубого пятна выделяют нейротрансмиттер норадреналин, а некоторые нейроны продолговатого мозга – серотонин. Частично умеряющее боль действие лекарств, повышающих норадреналин и серотонин, связано с их действием на задний рог спинного мозга. Хотя анальгетическое действие морфия связано с периакведуктальным серым веществом, местное применение морфия в спинном мозге может тоже привести к обезболиванию, и это часто используется в больницах, особенно после кесарева сечения.

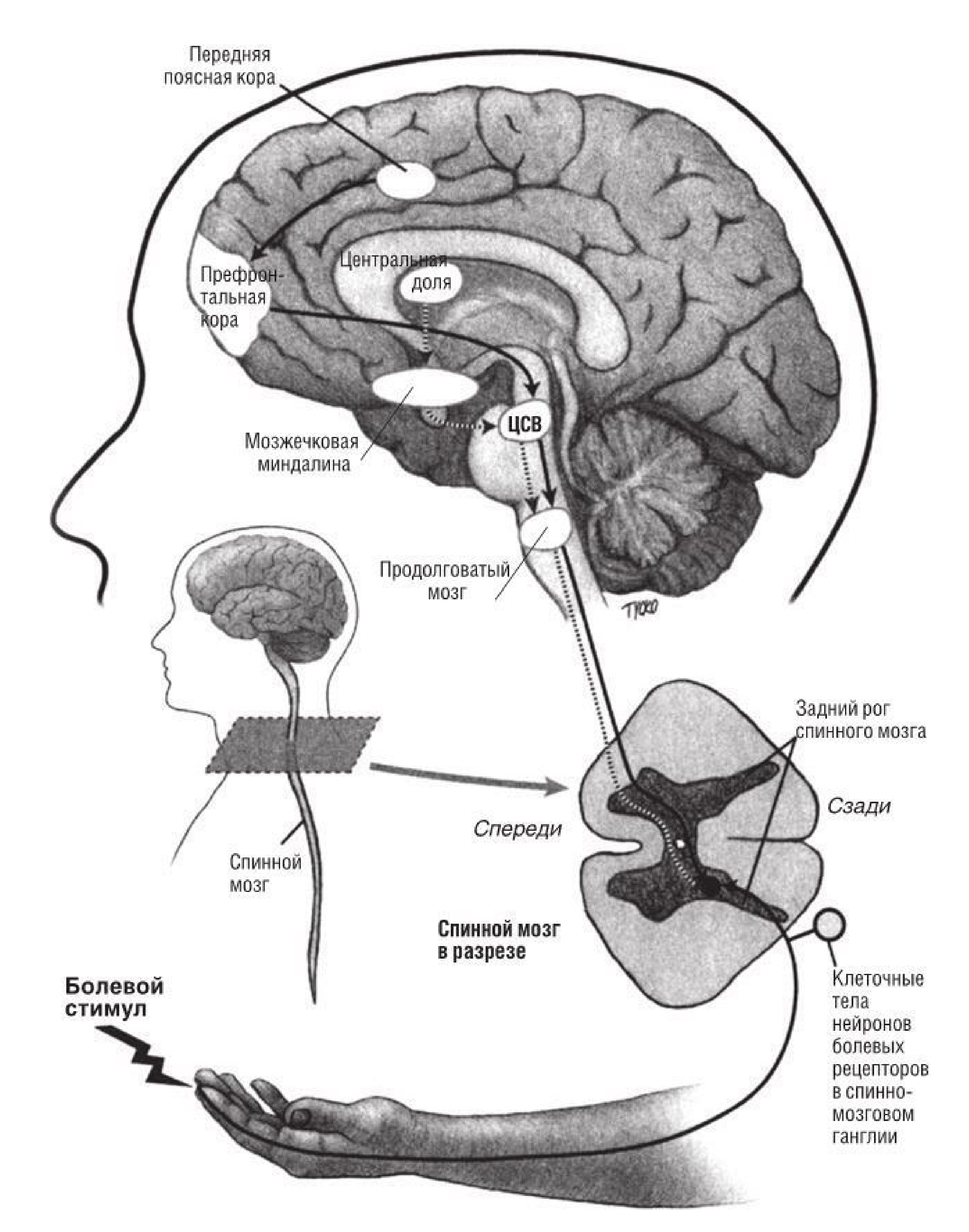


Рис. 6.6. Нисходящие пути, идущие от головного мозга к спинному, играют важную роль в эмоциональных и когнитивных изменениях болевых ощущений. Ключевые остановки на пути нисходящей информации находятся в мозговом стволе: это центральное серое вещество и продолговатый мозг. Диаграмма дает об этом упрощенное представление. Так, например, синаптическое действие разных нейромедиаторов, высвобождаемых в заднем роге спинного мозга нисходящими волокнами, различно. © 2013 Джоан Тикко

Свойства опиумного мака и его производных – например, морфина – контролировать боль известны уже по меньшей мере с 3400 г. до н. э., когда их открыли в Шумере (юг современного Ирака). Шумеры называли мак «хуль гил» – растение радости. Оттуда мак вскоре начали

экспортировать в Ассирию и Египет, а уже затем он получил широкое распространение. Морфин симулирует воздействие собственных морфиноподобных молекул мозга – эндорфинов и энкефалинов. Рецепторы, отвечающие за восприятие этих опиатов, расположены по всему телу и нервной системе, но особого типа рецепторы – мю-опиатные рецепторы – сосредоточены именно в нисходящих болевых путях: в центральном сером веществе, продолговатом мозге, поверхностных слоях заднего рога спинного мозга.[124] Достаточно впрыснуть очень небольшое количество морфия в центральное серое вещество, чтобы добиться сильного обезболивания: он стимулирует деятельность включающих клеток продолговатого мозга и замедляет деятельность выключающих. Центральное серое вещество играет в обезболивании настолько большую роль, что тщательно контролируемая электрическая стимуляция этой зоны может заменить химическую анестезию при хирургических операциях. Тем, кто страдает от боли, не умеряемой обезболивающими, порой вживляют в центральное серое вещество электроды, что позволяет им самим проводить электростимуляцию мозга для облегчения боли. Но такому облегчению могут помешать лекарства, направленные на мю-опиатные рецепторы, стимулирующие воздействие эндорфинов и энкефалинов для достижения лечебного эффекта.

Вооружившись этими знаниями о нисходящих болевых каналах, вернемся к нашим примерам – рядовому Тернеру, в бою даже не замечавшему, что он ранен, и вашему рассказчику, плакавшему в детстве от незначительной боли при обычной прививке. Безусловно, в обоих случаях такое поведение обусловлено особенностями концентрации внимания. Рядовой Тернер сосредоточился на том, чтобы вынести своих товарищей из-под огня; он вовсе не думал о собственном организме. В лабораторных условиях интенсивность боли оценивается как более низкая, когда участников исследования отвлекают от ее восприятия – например, задают им какие-то вопросы или просят решить задачу. Эта реакция связана со снижением активности первичной соматосенсорной коры и центральной доли. И наоборот, когда участников просят сосредоточиться на своей боли, уровень ее интенсивности растет, отражая повышение активности тех же участков мозга. Важно отметить, что эмоциональная компонента восприятия боли, выражаемая по шкале неприятных ощущений, при любых колебаниях внимания остается в основном неизменной.

В лабораторных условиях можно поставить эксперименты, которые будут селективно активировать механизмы эмоций и внимания, но в реальном мире разграничить их не так просто. Рядового Тернера отвлекали продолжающаяся стычка и попытки спасти товарищей, но это отвлечение тоже не было эмоционально нейтральным, а, напротив, переполненным эмоциями: страхом, состраданием, гордостью, глубокими эмоциональными связями с павшими. Я же в кабинете врача в ожидании инъекции сосредоточивался на грядущем уколе, что также было глубоко эмоциональным опытом: мой ужас порождали отрицательные воспоминания.

Отрицательные эмоции усиливают восприятие боли, но принципиально иным образом, чем концентрация внимания – как с анатомической, так и с перцептуальной точки зрения. Они провоцируют вспышку вызванной болью деятельности передней поясной коры и увеличивают восприятие боли по шкале ее неприятности, но не по шкале интенсивности. Таким образом, как смыслоразличительный, так и аффективно-эмоциональный аспекты восприятия боли подвержены когнитивным и эмоциональным изменениям. В реальном мире когнитивное и эмоциональное тесно взаимосвязаны. Например, постоянно воспринимаемые неприятные ощущения от боли активируют префронтальную кору – участок, отвечающий за размышления и предположения относительно будущих последствий постоянной боли: долго ли она продлится? Начнется ли опять? Могу я ее контролировать или нет? Насколько это безопасно? Подобные

---

[124] Морфий и родственные ему медикаменты – оксикодон и героин – активируют также цепочку удовольствия в мозге, в особенности ключевую зону – вентральную область покрышки. В этом причина эйфорического действия опиатов и их аддиктивных свойств.

мыслительные процессы внесли значительный вклад в мою панику из-за приближающегося укола. В этом частично были задействованы нисходящие болевые каналы, идущие из головного мозга в спинной. Во многих таких случаях образуется порочный круг – цепь положительной обратной связи, при которой размышления о боли только усиливают неприятные ощущения от нее, а те, в свою очередь, заставляют еще больше нервничать и размышлять по ее поводу. Вот почему транквилизаторы (например, некоторые бензодиазепины) оказываются полезными в качестве обезболивающих, особенно при хронической боли. Хотя эти лекарства не воздействуют на восприятие боли непосредственно, они снимают тревожность и тем самым умеряют неприятные ощущения, разрывая цепь положительной обратной связи. В среднем люди, страдающие от перепадов настроения, чаще страдают и от хронической боли.[125]

Когда боль активирует спиногипоталамический путь, она вызывает сразу несколько реакций типа «бей или беги»: учащается пульс, дыхание, выделяется пот, ускоряются мышечные сокращения и т. д. Эти реакции мы чувствуем и сознательно, и на подсознательном уровне, они во многом и вызывают ощущение тревожности. Когда вы понимаете, что у вас участился пульс, то пугаетесь еще больше. Это очередная цепь положительной обратной связи, которая усиливает хроническую боль. Подсознательные реакции типа «бей или беги», вызванные болью, усиливают тревожность, которая, в свою очередь, усиливает и боль.

Часть болевой цепи мозга, в которую входят центральная доля, передняя поясная кора и префронтальная кора, играет важную роль в сопоставлении ожиданий от боли с реальными болевыми ощущениями, а следовательно, и в предсказании будущих ситуаций. Один из ключевых факторов оценки – внешняя угроза. Боль, идущая изнутри, пугает меньше и расценивается и как менее интенсивная, и как менее неприятная, чем та боль, которая внезапно вторгается в наш организм извне. В лабораторных условиях самопорожденная боль вызывает меньшую активность и первичной соматосенсорной, и передней поясной коры по сравнению с болевым стимулом той же интенсивности, но внешнего происхождения. В одном исследовании это демонстрировалось следующим образом: либо сами участники щипали себя одной рукой за другую, так что сила сжатия была сравнима с уколом заостренным кусочком пластмассы, либо их щипал экспериментатор. Иными словами, хотя попасть себе молотком по пальцам больно, вы, по крайней мере, знаете, как это случилось, и считаете, что в состоянии контролировать ситуацию и уменьшить шансы на ее повторение в будущем. Это знание помогает успокоиться и тем самым успокоить и боль. И наоборот: если вы не знаете, когда болевой стимул возникнет снова, это повысит и интенсивность, и неприятность ощущений в следующий раз.

[125] Есть убедительные свидетельства того, что у людей с депрессией, не страдающих болями изначально, в два раза больше вероятность развития мышечно-скелетных болей, чем у обычных, не страдающих болями людей. То же верно и для подверженных тревожным неврозам. Очевидно, что причинно-следственная связь может развиваться в двух направлениях: хроническая боль приводит к устойчивым эмоциональным расстройствам, тем самым создавая порочный круг.

OF THE

IMAGINATION,

AS A CAUSE AND AS A CURE OF
DISORDERS OF THE BODY;

EXEMPLIFIED BY

FICTITIOUS TRACTORS,

AND

EPIDEMICAL CONVULSIONS.

"DECIPIMUR SPECIE." HOR.

Read to the Literary and Philofophical Society of Bath.

BY

JOHN HAYGARTH, M. D.

F. R. S. LOND. AND EDINB.
OF THE ROYAL MEDICAL SOCIETY AT EDINBURGH, AND OF THE AMERICAN
ACADEMY OF ARTS AND SCIENCES.

BATH, PRINTED BY R. CRUTTWELL;
AND SOLD BY
CADELL AND DAVIES, STRAND, LONDON.

1800.

Price One Shilling

Рис. 6.7. Джон Хейгарт – первый ученый, систематически исследовавший эффект плацебо и сообщивший о нем. В его книге, опубликованной в 1800 году, рассматривалась эффективность «вытягивателей Перкинса» – особых спиц, которые якобы способны были выводить болезнь из организма. Хейгарт показал, что некоторые люди действительно исцелились после лечения вытягивателями Перкинса, но примерно в той же степени им пошли на пользу и деревянные спицы, лишь имитировавшие эти приборы. Его вывод был таков: вытягиватели Перкинса – надувательство, но «страсти разума обладают замечательным и мощным влиянием на состояние организма при его расстройстве». Эпиграф к книге – Decipitur specie – сокращение известной фразы римского поэта Горация Decipitur specie recti («Мы обманываемся видимостью правильного»). Используется с разрешения Королевского медицинского колледжа, Эдинбург

Когда пациентам дают пилюлю из сахара или какое-то другое плацебо и уверяют, что это лекарство снимет боль, многие действительно испытывают некоторое облегчение (рис. 6.7). Хотя уровень этого облегчения зависит от типа боли и личности пациента, в среднем эффект плацебо дает значительное обезболивание примерно у 30 % пациентов. Механизм его действия довольно сложен и, возможно, включает в себя устранение и тревожности, и неприятных ощущений. Картографирование мозга показывает, что плацебо-обезболивание связано с высвобождением эндорфинов/эндокефалинов в некоторых участках эмоциональной болевой цепи, в том числе передней поясной и префронтальной коры и мозжечковой миндалины, а также центрального серого вещества. Налтрексон – лекарство, блокирующее мю-опиатные рецепторы, – блокирует и плацебо-обезболивание, что дает основание предположить участие эндорфинов/эндокефалинов.[126] Вариант эффекта плацебо – *усиление* воспринимаемой боли: если пациентам говорят, что им сейчас дадут анальгетик, который едва ли сработает, об облегчении боли заявит меньше людей, даже если на самом деле анальгетик очень эффективный – оксикодон или морфин. Если же пациенты получают препарат без действующего вещества, но им говорят, что от этого боль усилится, обычно они действительно сообщают о том, что боль стала более резкой. Это так называемый эффект ноцебо. Его биологическая основа плохо изучена, но, возможно, он связан с усиленной активацией участков восприятия боли как в спинном, так и в головном мозге.

Когнитивный и эмоциональный аспект восприятия боли хорошо понимают мучители и пользуются этим знанием самым ужасающим и бесчеловечным образом, усиливая страх и боль, чтобы их жертвы чувствовали себя как можно более беспомощными. Поскольку они знают, что ожидание боли значительно увеличивает ее воздействие, они часто заставляют будущих жертв наблюдать пытки других, что усиливает концентрацию их внимания на ожидаемой боли. Кроме того, мучители понимают, что испытываемая боль возрастает при ощущении угрозы. Это достигается унижением жертвы (раздевание, сексуальное насилие, доведение до истерики) и нерегулярной и непредсказуемой сменой сна, пробуждения, кормления и пыток.

К счастью, ту же цепь эмоционального и когнитивного контроля, которую так успешно задействуют мучители для усиления боли, можно использовать и для облегчения боли, особенно хронической. Практики, основанные на самосознании – медитация, йога, тайчи, метод Фельденкрайза, – как показывают исследования, способны умерять как хроническую, так и острую боль. Хотя некоторые из этих исследований довольно низкого качества, проводились без должного контроля и привлекали недостаточное для строгого статистического анализа количество участников, некоторые крупные, рандомизированные, хорошо проведенные иссле-

[126] Есть также свидетельства того, что выделение дофамина в так называемом прилежащем ядре мозга – самом важном центре удовольствия – вносит свой вклад в обезболивание от плацебо.

дования также свидетельствуют об эффективности этих техник для облегчения некоторых форм хронической боли.

Как основанные на самосознании тренировки помогут умерить боль? Рассмотрим это на примере медитации, которая описана в специальной литературе, посвященной восприятию боли и стоящим за этим биологическим процессам. Один из принятых способов облегчения боли – научиться частично контролировать подсознательные, вызванные болью реакции типа «бей или беги», что поможет умерить тревожность и ощущение угрозы и снизит неприятные ощущения.[127] Так будет разорвана одна из цепей положительной обратной связи, которая поддерживает хроническую боль. Еще один способ – научиться открываться боли. Вместо того чтобы избегать болевого опыта или отвергать его, со временем человек может приучить себя к тому, что постоянная боль – не угроза, и это поможет на нее не реагировать, тем самым снижая неприятные ощущения от боли. И действительно, недавние исследования группы Ричарда Дэвидсона из Университета Висконсина в Мэдисоне показали, что буддистские специалисты по медитации (более 10 тысяч часов практики), занимающиеся «открытой медитацией», под воздействием нагрева лазером отмечали ту же интенсивность боли, что и новички, но гораздо менее неприятные ощущения.

При картографировании мозга выяснилось, что эксперты в медитации демонстрировали пониженную базовую активность, но повышенную вызванную болью начальную активность центральной доли и передней поясной коры, которая затем приглушалась постоянной стимуляцией. Авторы предполагают, что медитативные тренировки развития открытости к боли умеряют эффект ожидания боли и привлекают дополнительные ресурсы, которые способствуют ее затуханию и привыканию к ней. Это привыкание снижает восприятие угрозы, относительную тревожность и не дает возникнуть соответствующим реакциям типа «бей или беги».[128]

Другая форма медитации – это дзен. Вместо того чтобы открываться навстречу опыту, в дзене ищут иную форму саморегуляции. Цель здесь – не достичь привыкания, а отделиться от боли, сводя к минимуму оценочные процессы высшего порядка. Когда группа Пьера Рейнвилля из Монреальского университета изучала реакцию опытных мастеров дзен-медитации на болезненные температурные раздражители, результаты оказались близки к тем, что получила группа Дэвидсона: участники-эксперты отмечали пониженные неприятные ощущения от боли и повышенную активность центральной доли и передней поясной коры по сравнению с теми, кто медитацией не занимался. Однако было продемонстрировано и снижение активности в префронтальной коре, и этот эффект был тем более выражен, чем ниже участник эксперимента оценивал боль по шкале неприятных ощущений. Одна из интерпретаций таких результатов состоит в том, что специалисты по дзен-медитации не привыкают не видеть угрозы в постоянной боли (что, возможно, требовало бы участия префронтальной коры), а просто решают ее игнорировать. Таким образом, для снижения боли, видимо, существует несколько различных когнитивно-эмоциональных стратегий.

Боль и отрицательные эмоции тесно связаны друг с другом. В повседневной речи мы говорим о том, как «больно» быть отвергнутым семьей, друзьями, даже незнакомцами, а неудача в любви нам «разбивает сердце». Как вы помните, это не первый наш экскурс в область тактильных метафор. Мы говорили о том, что осязание по природе своей эмоционально (чувства!), и о том, насколько взаимосвязаны физическая теплота и теплота отношений. В случае с прохладной мятой и жгучим чили мы даже наблюдали, как эта метафора закодирована в сенсорных молекулах TRPM8 и TRPV1.

---

[127] Более научный термин – активация симпатической ветви автономной нервной системы.

[128] Активируемые в этих исследованиях участки мозга – островковая доля большого мозга и передняя поясная кора.

Мы знаем, что восприятие боли обладает анатомически отчетливым эмоциональным компонентом, который может искажаться из-за повреждений центральной доли или передней поясной доли. Но какова *на самом деле* связь между физической и эмоциональной болью? Выявлено несколько интересных корреляций. Исследования показывают, что те люди, чувства которых легко задеть, особенно отвергнутые социумом, чаще ставят боли более высокие оценки по шкале неприятных ощущений на лабораторном тестировании. Но даже у людей, чувства которых задеть не так легко, неурядицы в отношениях с обществом способны усилить неприятные ощущения от физической боли. Как ни странно, анальгетики – даже такие мягкие, как ацетаминофен (тайленол), – способны унять и эмоциональную боль. Впрочем, вероятно, наиболее убедительно другое открытие: отверженность обществом и физическая боль активируют перекрывающиеся зоны эмоциональной болевой цепи в головном мозге: например, когда человека не приглашают поиграть в какую-нибудь пустяковую компьютерную игру, даже эта легкая форма общественного остракизма вызывает активацию задней части передней поясной коры и передней части центральной доли. В другом исследовании анализировалась значительно более серьезная форма отверженности обществом: когда люди, которых недавно бросили возлюбленные, смотрели на фотографии бывших партнеров, задействованы были не только эмоциональные болевые центры, но и вторичная соматосенсорная кора, отвечающая за смыслоразличительные аспекты боли.[129]

Снова напомним, что повседневная речь отражает неврологические процессы. Близость эмоциональной и физической боли характерна не только для эмоционального или поэтического языка. Эта метафора вполне реальна, она закодирована в цепи эмоциональной боли головного мозга. Быть отверженными обществом больно.

[129] Контрольная группа состояла из недавно брошенных возлюбленными студентов, которых просили посмотреть на фотографию друга (того же пола, что и предыдущий партнер), с которым у них никогда не было романтических или сексуальных отношений.

Глава 7
Когда зудит и свербит

Семанза жил в Рукунгири – сельском районе Уганды. Он страдал от такого нестерпимого зуда, что, даже постоянно расчесывая себя ногтями, не получал никакого облегчения. Поэтому он разбил глиняный горшок и начал чесаться черепками. Закончилось это множественными повреждениями кожи и бактериальным заражением. Годы постоянного зуда и расчесывания привели к тому, что игла шприца не могла проколоть его кожу. Мозес Катабарва, эпидемиолог и сотрудник программы Картеровского центра по борьбе с речной слепотой, в 1992 году увидел Семанзу и отметил, что его кожа казалась покрытой засохшей грязью. Никто из его соседей не хотел находиться с ним рядом, и всеми отвергнутый Семанза жил в небольшой хижине рядом с домом своей семьи.

Причиной невыносимого зуда у Семанзы был онхоцеркоз – заражение паразитическими круглыми червями вида *Onchocerca volvulus*. Поскольку эта инфекция иногда поражает глаза и зрительный нерв, ее называют также речной слепотой. Этот червь попадает в организм в виде личинки после укуса черной тли, обитающей по берегам тропических рек с быстрым течением. Заболевание вызывается не самим червем, а бактериями, живущими в его кишечнике и выходящими наружу после его смерти, запуская иммунную реакцию в организме человека.

Онхоцеркозом страдает около 18 миллионов человек. Почти все они живут в Африке, за исключением нескольких случаев в Венесуэле и Бразилии. Это заболевание не смертельное, но оно резко снижает качество жизни. Так, из-за него ослепло примерно 270 тысяч человек – и это только из живущих сейчас. В Либерии заболевшие работники на каучуковых плантациях раньше раскаляли мачете на огне и чесались их горячими остриями, чтобы хоть как-то облегчить невыносимый зуд. Разумеется, из-за зуда ухудшается и сон. Мозес Катабарва поясняет: «Дети, зараженные червями, не в силах сосредоточиться, потому что все время чешутся – днем и ночью». Среди жертв этой болезни нередки и самоубийства.

Хотя вакцины от онхоцеркоза нет, болезнь удается контролировать при помощи препарата ивермектина, который с 1985 года бесплатно распространяется фармацевтической компанией *Merck*. При лечении ивермектином новорожденные черви-микрофилярии каждые полгода погибают, так что все вызывающие зуд бактерии сразу же выходят наружу. Это приводит к двухдневному приступу непрерывной чесотки, еще более мучительной, чем обычно, после чего следует блаженное облегчение. Семанзе удалось получить ивермектин в ходе местной программы, запущенной благодаря усилиям Катабарвы. Через два года после начала лечения зуд исчез, его кожа частично зажила. Он снова стал полноценным членом общества, женился и надеется обзавестись детьми.[130]

Зуд может быть как кратким, так и многодневным. Если не лечить онхоцеркоз, он может сохраниться на всю жизнь. Зуд вызывают механические стимулы – шерстяной свитер или ползущие по коже насекомые – или химические, как, например, воспалительное вещество урушиол, которое содержится в ядовитом плюще.[131] Причиной зуда может быть и повреждение сенсорных нервов мозга. В некоторых случаях зуд усугубляется опухолью головного мозга, вирусной инфекцией или психическими заболеваниями – например, обсессивно-компульсив-

[130] Название бактерии, обитающей в кишечнике круглого червя, – вольбахия. Она живет в симбиозе с этим червем, то есть они не вредят друг другу. Вольбахию убивают некоторые антибиотики вроде доксициклина, так что порой используется сочетание ивермектина и доксициклина. Единственные хозяева взрослого организма *Onchocerca volvulus* – приматы (мыши, крысы и другие лабораторные животные им не заражаются), что ограничивает возможности для изучения речной слепоты в лаборатории.

[131] Помимо плюща, урушиол содержится в сумахе укореняющемся и сумахе ядовитом.

ным расстройством, это также хорошо известный побочный эффект некоторых терапевтических и восстановительных препаратов.

На ощущение зуда оказывают большое влияние когнитивные и эмоциональные факторы. Как-то раз, в лагере в амазонских джунглях, я уже засыпал, как вдруг почувствовал, что у меня чешется рука. Я схватил фонарик и очки, увидел, что причина зуда – огромная многоножка, и отбросил ее. С этого момента о сне пришлось забыть. Я обрел небывалую бдительность: каждое дуновение ветерка, каждое движение мышц вызывало чесотку – и так на всю ночь, причем это касалось не только той же руки, но и всего тела. Я мысленно боролся с многоножками до рассвета.

Ужасная, мучительная природа зуда и чесотки хорошо известна. В аду Данте обычные обманщики (алхимики, самозванцы и фальшивомонетчики) брошены в восьмой круг ада, где страдают от вечного зуда (рис. 7.1). Только тех, кто совершил предательство – обманул доверие людей, любовью и преданностью которых пользовался (например, Иуда Искариот, предавший Иисуса Христа), – ждет более суровая кара в девятом круге, где они вморожены в лед.

Возникает вопрос, который лежит на стыке биологии и философии: действительно ли зуд – это уникальная форма осязательных ощущений, качественно отличающаяся от остальных, или же это просто другой тип стимуляции, который основан на одном или нескольких осязательных ощущениях, о которых мы в этой книге уже говорили? Проведем аналогию: можно ли сказать, что зуд и другие осязательные ощущения отличаются друг от друга так же, как саксофон отличается от рояля? Оба инструмента производят звук, но звуки эти качественно различны. Или же скорее это соответствие между исполняемым на фортепиано бибоп-джазом и классической музыкой романтической эпохи? Они также значительно отличаются друг от друга по музыкальной структуре и контексту, но исполняются на одном и том же музыкальном инструменте. Раньше подобные вопросы отдавались на откуп философам. Сегодня в дискуссию могут вмешаться и биологи.

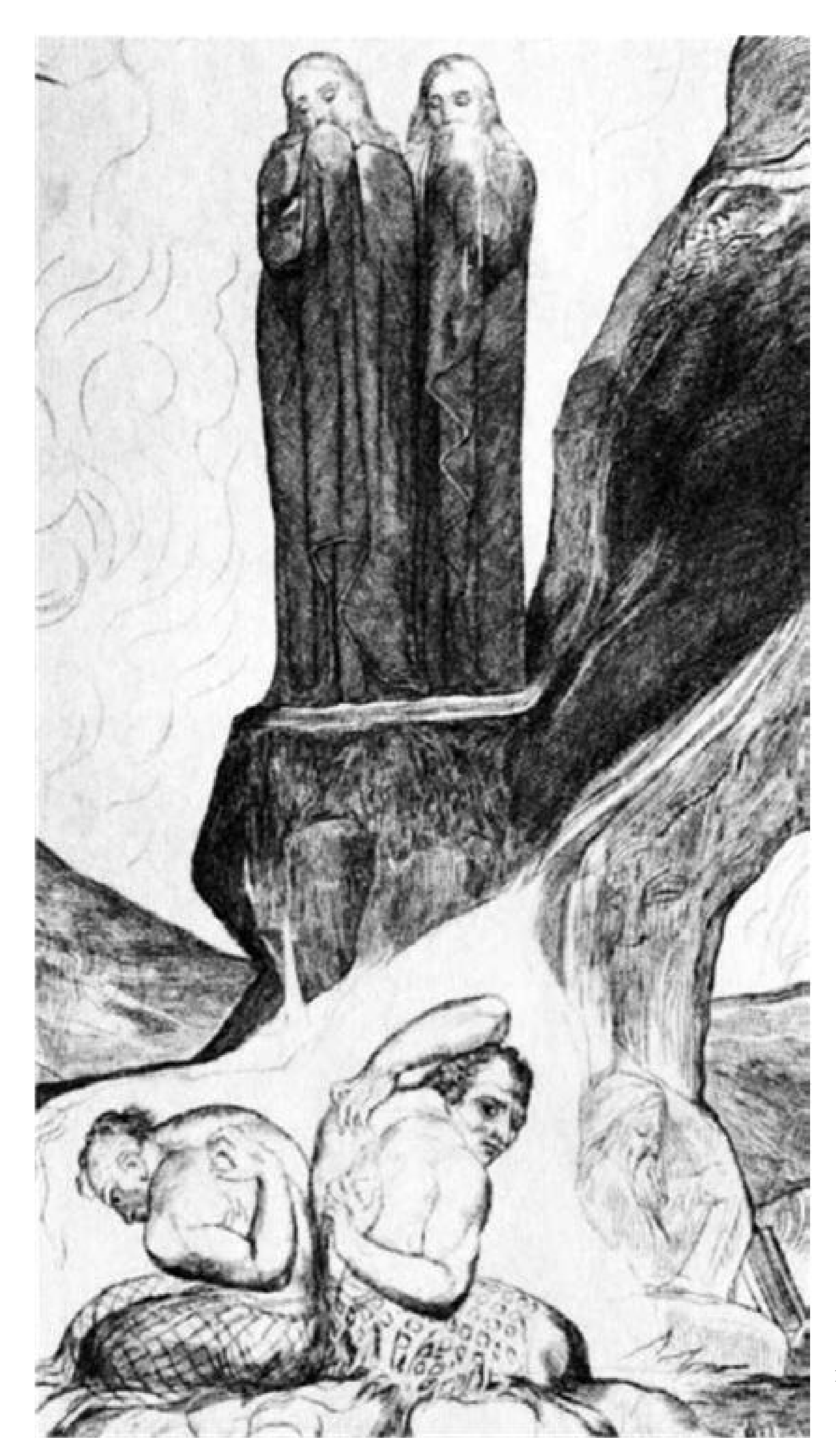


Рис. 7.1. На этой иллюстрации Уильяма Блейка, выполненной в 1827 году, обманщики мучаются от вечного зуда в восьмом круге Дантова ада (Песнь 29). Восьмой круг подразделяется на десять концентрических щелей, причем каждая последующая, вероятно, хуже предыдущей. Обманщики занимают последнюю и, видимо, самую ужасную щель. Для сравнения: первая щель предназначена для сводников и обольстителей, которых постоянно на ходу бичуют бесы. Используется с разрешения музея Фогга в Гарвардском университете (анонимный дар в честь Джейкоба Розенберга, 63.1979.1)

Те, кто считает, что зуд – это не один из типов осязательных ощущений, а просто другой способ их возникновения, указывают, что это лишь частный случай боли – слабой и приглушенной. Они совершенно верно отмечают, что зуд и боль обладают рядом одинаковых свойств. И то и другое представляет собой реакцию на множество стимулов: механических, химических и иногда температурных. В особенности стоит заметить, что и боль, и зуд могут быть вызваны химическими продуктами воспаления, а устраняются противовоспалительными препаратами. И то и другое в значительной мере зависит от когнитивных и эмоциональных факторов, включающих внимание, тревогу и ожидания. И то и другое сигнализирует о вторжении в нашу среду того, чего следует избегать: это ощущения, которые мотивируют определенные действия. Боль приводит к рефлекторному избеганию ее источника; зуд вызывает рефлекторное почесывание. Почесывание зудящих мест, как и уход от боли во избежание повреждения тканей, считается защитной мерой. Оно позволяет изгнать ядовитых членистоногих (пауков, ос, скорпионов) или животных – переносчиков патогенов (малярийных комаров или разносящих чуму мух).

Если бы зуд был всего лишь слабой или прерывистой формой боли, можно было бы предположить, что увеличение интенсивности или частоты вызывающих зуд стимулов привело бы к его переходу в боль, а ослабление болевых стимулов, соответственно, превратило бы боль в зуд, но тщательные лабораторные исследования показали, что этого никогда не происходит. Слабая боль – это просто слабая боль, а интенсивный зуд – это интенсивный зуд. Еще одно ключевое различие между зудом и болью касается их локализации в организме. Если боль чувствуют на коже, в мышцах, связках и внутренних органах, то зуд ограничен лишь внешним слоем кожи (как волосистой, так и гладкой) и прилегающими слизистыми мембранами, которые окружают, например, рот, горло, глаза, нос, малые половые губы и анус.[132] Кишечник может болеть, но не зудеть.

Если зуд – уникальная форма осязания, то следует ожидать, что в коже найдутся такие волокна сенсорных нейронов, которые активируются только в ответ на зудящие стимулы и которые при электрической стимуляции в лаборатории порождают зуд, а не боль. Это так называемая теория специализации, противостоящая теории декодирования структур, согласно которой одни и те же сенсорные нейроны могут сигнализировать как о зуде, так и о боли в зависимости от структуры электрических импульсов.

В 1997 году немецкий нейрофизиолог Мартин Шмельц с коллегами впервые обнаружил у людей следы зудоспецифичных сенсорных нервных волокон при помощи микронейрографии – техники, при которой тонкий электрод пропускается через кожу в сенсорный нерв и записывает электрическую активность отдельных волокон. Исследователи нашли популяцию медленных, не покрытых миелиновой оболочкой С-волокон, которые выдавали электрическую реакцию в ответ на нанесение гистамина (вызывающего зуд химического вещества, которое обычно вырабатывается в организме) на небольшие участки на коже ног волонтеров. Электрические импульсы начинали поступать именно в тот момент, когда участники сообщали о зуде в этих местах. Интересно, что эти волокна были направлены не на этот мелкий участок кожи, а

[132] Есть причины считать, что кашель и зуд – взаимосвязанные ощущения, призванные устранить нежелательный раздражитель. У них, возможно, есть общие клеточные и молекулярные участки путей в нервной системе.

распространялись по зоне диаметром около 8 сантиметров. Поскольку на механическую стимуляцию волокна не реагировали, их посчитали зудоспецифичными, что подкрепляло теорию специализации. Но через несколько лет та же самая группа исследователей выяснила, что по крайней мере некоторые С-волокна, реагирующие на зуд, удается электрически активировать и болевыми стимулами – что свидетельствовало против теории специализации.[133]

Частично трудности в интерпретации этих открытий связаны с тем, что использовался именно гистамин, а это, как мы знаем, лишь одно из нескольких веществ, вызывающих зуд, и действуют эти вещества по разным химическим каналам. Большинство из нас имеют опыт снятия зуда антигистаминным кремом, и мы знаем, что он помогает лишь в некоторых случаях. По этим экспериментам нельзя судить о том, реагируют ли на боль нервные волокна, по которым передаются иные, не гистаминные формы зуда. Поэтому доказательств существования отдельных нейронов зуда у людей пока не получено. Важное ограничение экспериментов на людях состоит в том, что нам приходится вслепую охотиться на отдельные волокна с этим электродом: мы не можем заглянуть в нерв и отметить конкретное волокно. С мышами можно добиться гораздо большего прогресса, используя генетические, анатомические и электрические методы.

Зуд могут вызывать самые разные типы стимуляции кожи. Во многих случаях мы даже не обладаем пока пониманием молекулярных эффектов, вызывающих зуд. Для большинства стимулов зуда путь в мозг оказывается непрямым. Например, если кожа сильно натерта или проявляет местную реакцию на аллерген, включается воспалительный каскад (мы говорили о нем в главе 6 – см. рис. 6.5). Молекулы, выделяемые иммунными клетками (например, гистамин из тучных клеток), могут поступать в гистаминовые рецепторы, расположенные на свободных окончаниях сенсорных нейронов в эпидермисе, и побуждать их испускать электрические импульсы (рис. 7.2). В другом примере фрагмент естественного белка BAM8-22 поступает в другой рецептор на проводящих зуд нервных окончаниях кожи, который применительно к мышам называют MrgprC11, а к людям – hMrgprX1. Иногда происходит непосредственная активация рецептора зуда в окружающей среде. Например, хорошо известно, что противомалярийный препарат хлорохин вызывает зуд. Хлорохин непосредственно поступает в другой рецептор сенсорных нейронов, который называется MrgprA3. Отметим, что существует по меньшей мере три молекулярных сенсора, которые активируют нейроны, ответственные за распознавание зуда. И если некоторые активируются непосредственно сигналами окружающей среды, то большинство реагируют на химический сигнал-посредник в самом организме.

Если действительно существуют особые нейроны, отвечающие за зуд, то верны и следующие утверждения: 1) мы можем разрушать или подавлять эти нейроны и блокировать ощущение зуда, причем другие осязательные ощущения – боль и температура – останутся неизменными; 2) избирательная активация этих специализированных нейронов зуда должна вызывать ощущение зуда, но не боли и не других осязательных ощущений; 3) анатомическое распределение нервных окончаний отражает известное распределение ощущения зуда: они должны присутствовать в эпидермисе и во внешних слизистых мембранах, но отсутствовать в мышцах, связках, внутренних органах и т. д.

---

[133] Зуд, по-видимому, в основном передается медленными С-волокнами. Один из способов, благодаря которым это можно узнать, – наложить временную перевязку на руку участника эксперимента. Это блокирует распространение электрических сигналов по более крупным А-волокнам, но не по мелким С-волокнам и практически не уменьшит ощущения зуда.

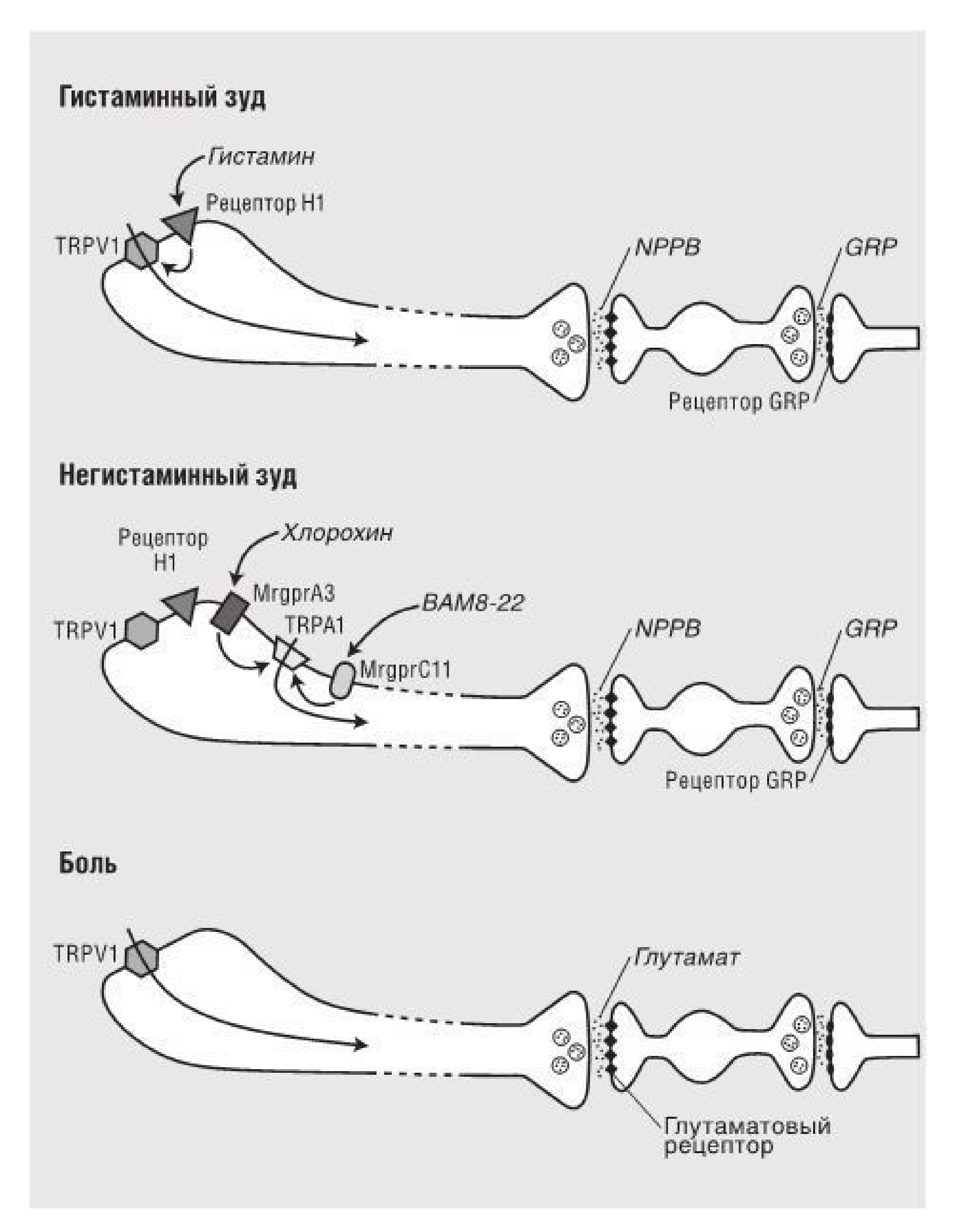


Рис. 7.2. Два различных пути С-волокон при зуде в сопоставлении с болью. Нейромедиатор NPPB, по всей вероятности, специфичен для нейронов зуда. Напротив, нейроны боли выделяют глутамат, тем самым отправляя сигнал в нейроны заднего рога спинного мозга. Эти нейроны содержат рецепторы NPPB и, в свою очередь, выделяют редкий нейромедиатор GRP, сигнализируя им следующим нейронам в цепочке. Удаление нейронов с рецепторами GRP блокирует ощущение зуда, но не ощущение боли или легких прикосновений, что дает основание предположить, что эти два синаптических соединения специфичны именно для зуда [134].

[134] Эта линия исследований зашла в некоторый тупик. Изначально ее авторы считали, что GRP является нейромедиатором сенсорных клеток дорсального корешкового ганглия, которые и являются первичными рецепторами зуда. Но более новые

Нейроны зуда можно разделить по меньшей мере на две категории: те, что содержат рецептор хлорохина MrgprA3 и в основном передают негистаминный зуд, и те, которые обладают только гистаминовым рецептором и отвечают за гистаминный зуд. Гистаминовые рецепторы возбуждают нервные окончания, открывая ионный канал TRPV1, а рецепторы хлорохина и BAM8-22 открывают ионный канал TRPA1. Эта диаграмма дает лишь общую схему. Скорее всего, существуют и другие популяции нейронов зуда, помимо показанных здесь. Кроме того, синаптические взаимодействия между потоками информации в спинном мозге на данный момент не вполне понятны

Один из подходов к определению потенциально специализированных нейронов – попытка выявить молекулу-нейромедиатор, используемую этими особыми нейронами для связи с соответствующими участками спинного мозга, и последующее удаление этой молекулы у мышей при помощи генетических манипуляций. Сантош Мишра и Марк Хун из Национального института здравоохранения так и поступили, сделав на основании опыта предположение о том, что нейротрансмиттер зуда – это молекула NPPB.[135] Выяснилось, что мышь-мутант без NPPB почти не испытывает зуда в ответ на множество стимулов, включая и гистамин, и хлорохин. А главное – мыши без NPPB нормально реагировали на боль, температуру и легкие прикосновения.

NPPB высвобождается аксонами сенсорных нейронов и передается таргетным нейронам заднего рога спинного мозга. У этих нейронов есть рецепторы, которые взаимодействуют с NPPB и распространяют электрические сигналы далее в головной мозг. После искусственного синтеза NPPB и впрыскивания этого вещества в спинной мозг мышей животные начали чесаться точно так же, как если бы испытывали зуд на коже в обычных условиях. После инъекции в спинной мозг особого токсина, который избирательно разрушает нейроны с рецепторами NPPB, мыши не отреагировали ни на применение зудящих стимулов, ни на впрыскивание NPPB в спинной мозг. Эти результаты позволяют предположить, что нейроны, использующие NPPB, специфичны именно для зуда. Если это верно, то избирательная активация этих нейронов должна вызывать зуд, но не боль и не ощущения легких прикосновений. На время создания этой книги отчетов о таких экспериментах еще не появилось, но, судя по всему, в некоторых лабораториях их пытаются провести.

Иннервирующие кожу нейроны, которые продуцируют NPPB, делятся как минимум на две категории. Большинство из них имеет на поверхности рецептор MrgprA3, но у некоторых он отсутствует (рис. 7.2). Когда аксоны нейронов с MrgprA3 были локализованы, оказалось, что они заканчиваются в эпидермисе, но не в мышцах, связках или внутренних органах, то есть ведут себя именно так, как следовало бы ожидать от зудоспецифичных сенсоров. Был проведен ряд сложных генетических манипуляций с мышами, позволивший экспериментаторам искусственно активировать нейроны с MrgprA3 в коже, что вызвало реакцию зуда и не вызвало реакции боли. (При зуде мыши чешутся, а при боли потирают больное место.) Этот результат говорит, что сенсорные нейроны с MrgprA3 передают информацию о зуде, но не информацию о боли. Когда они были точечно разрушены, мыши по-прежнему могли воспринимать боль, температуру и легкие прикосновения, но почти не испытывали зуда при применении самых разных его стимулов. Впрочем, важно отметить, что отсутствие зуда не было полным: в особенности сохранилась значительная реакция на гистамин, за которую, судя по всему, отвечают и передающие зуд нейроны без MrgprA3.

работы показали, что эти клетки не производят GRP, это молекула служит нейромедиатором для нейронов спинного мозга, которые получают сигналы зуда от клеток, выделяющих NPPB.

[135] Полное название NPPB – предшественник натрийуретического пептида типа B. Это пептидный мессенджер, изначально выявленный как регулятор сердечной функции.

В целом манипуляции с мышиными NPPB и MrgprA3, о которых мы говорили, показывают, что, судя по всему, существует по меньшей мере один набор нейронов, отвечающих именно за зуд: это клетки с NPPB и MrgprA3. Возможно, есть и другие специализированные нейроны. Очень вероятно также, что есть по меньшей мере несколько нейронов, передающих информацию и о боли, и о зуде, а кодируются эти ощущения при помощи разной структуры электрических сигналов. В целом исследования показывают наличие по меньшей мере одного специализирующегося на передаче зуда пути, но нельзя отвергать и роль структурных различий при кодировании ощущения зуда.

Что значат эти результаты для нашего основного нейрофилософского вопроса? Подтверждение наличия специфического канала для зуда соответствует представлению о зуде как об уникальном и качественно ином ощущении, чем все остальные. При этом надо отметить, что мы пока не знаем, что происходит в потоке информации о зуде на пути к головному мозгу. Она практически наверняка в какой-то степени смешивается с другими осязательными ощущениями и, вероятно, теряет специфичность. Возможно, впрочем, что лучший судья здесь – опыт: почти во всех изученных на данный момент языках для зуда есть отдельное слово.

С практической точки зрения идентификация зудоспецифичных рецепторов и нейромедиаторов может открыть дверь новым методам лечения зуда. Возможно, в будущем хлорохин, показанный при малярии, будут выписывать вместе с другим лекарством, блокирующим MrgprA3. Антигистаминные и другие противовоспалительные препараты (например, стероиды) оказываются неэффективными во многих случаях зуда, но эти случаи будут успешно лечиться новыми медикаментами, избирательно блокирующими MrgprC11, рецепторы NPPB или рецепторы GRP. Хотя, как обычно, при разработке лекарств приходится преодолевать множественные препятствия. NPPB обладает сигнальной функцией, важной для сердца, так что вещества, воздействующие на рецепторы NPPB, могут иметь неприятное побочное воздействие на сердце и оказаться неподходящими для лечения зуда.

Счастье – это возможность почесаться каждый раз, когда захочется.
Огден Нэш

Чесать там, где чешется, очень приятно. Хотя мы знаем, что, когда перестанем чесаться, зудеть будет еще сильнее, большинство из нас не в силах бороться с собой и продолжают скрести кожу. Чесотка настолько непреодолима, а освобождение от зуда приносит такое удовольствие, что слово «зудит» (свербит?) используется уже в значении «сильно хочется». В песне Вуди Гатри *«Hesitating Beauty»* («Нерешительная красотка») есть такие слова: «Знаю, у тебя аж зудит выйти замуж, Нора Ли, знаю, и у меня здесь горит, Нора Ли» *(Well, I know that you are itching to get married, Nora Lee / And I know I am twitching for the same thing, Nora Lee)*. Мы хорошо понимаем, что это значит: зуд – удачная метафора неудовлетворенного желания.[136]

В одном малоприятном эксперименте волонтеров кололи волосками растения мукуна жгучая, что вызывает интенсивный зуд. Их прикладывали к предплечью, спине и лодыжкам, после чего экспериментатор чесал пораженные места небольшой щеточкой. Каждые тридцать секунд участники оценивали интенсивность зуда и приятные ощущения от чесания. Оказалось, что чесание спины эффективнее всего снимало зуд, зато почесывание лодыжки вызывало наиболее приятные ощущения.[137]

---

[136] К *«Hesitating Beauty»* и ко многим другим песням Вуди Гатри написал слова, но так и не положил их на музыку. Через много лет по инициативе Норы, дочери Вуди, Билли Брэггу и *Wilco* поручили написать музыку и исполнить некоторые из этих песен Гатри. *«Hesitating Beauty»* была исполнена Джеффом Твиди и его группой *Wilco*, которые и создали к ней музыку.

[137] В этом эксперименте почесывание производил экспериментатор, а не сам участник, с тем чтобы соблюдать постоянную интенсивность процедуры у всех участников и на всех участках кожи. Но меня терзает вопрос, что было бы, если бы участникам разрешили чесаться самостоятельно, ведь, скорее всего, они бы чесались гораздо яростнее, чем это делал экспериментатор.

Почему чесание временно облегчает ощущение зуда? Мы точно не знаем. Одна теория утверждает, что наше восприятие зуда зависит от баланса сигналов боли и зуда, которые сходятся в каком-то участке спинного мозга; когда мы чешемся, это вызывает умеренную боль, которая вступает в конкуренцию с ощущением зуда и тем самым облегчает его. Боль от уколов иглой, ударов током, а также причиняющие боль жар или холод тоже способны облегчить зуд. Впрочем, в некоторых случаях его устраняют даже легчайшие почесывания, имеющие более низкий болевой порог.

В одном из вариантов этой теории утверждается, что появление на коже очень точно локализованного стимула – например, лапок маленького насекомого – может активировать зудоспецифичные нейроны, и это ощущение через спинной мозг в полной сохранности доходит до мозга головного, вызывая чувство зуда. А когда этот участок расчесывают, активируя осязательные рецепторы в более широкой зоне, то задействованными оказываются ингибирующие схемы спинного мозга, которые препятствуют возникновению ощущения зуда в мозге.[138] Возможно, эволюция предусмотрела ощущение зуда от мелких локализованных прикосновений к коже, чтобы включать рефлекторное почесывание и тем самым меньше подвергаться опасности со стороны переносимых насекомыми токсинов и инфекций.[139]

Хорошо известно, что опиаты, такие как героин и оксикодон, могут приводить к настоящим приступам чесотки. Героиновые наркоманы ценят особенно «зудящую» порцию наркотика, основываясь на верном представлении о том, что между зудом и психоактивностью существует связь. Врачи-наркологи и офицеры службы наркоконтроля особенно пристально следят за страдающими чесоткой, поскольку это может свидетельствовать о хроническом употреблении опиатов. Опиатный зуд часто встречается и в клинических условиях: около 80 % пациентов, которым прописаны опиаты как болеутоляющие, испытывают зуд, который случается, даже если опиат вводится прямо в спинномозговую жидкость, что сводит к минимуму его прямое воздействие на головной мозг и сенсорные нервы.

Долгие годы считалось, что опиатный зуд – это побочный эффект облегчения боли. Идея состояла в том, что если сигналы боли и зуда смешиваются в спинном мозге и между ними начинается конкуренция, то блокирование сигналов боли смещает равновесие в сторону сигналов зуда. Вполне логичная гипотеза оказалась, однако, в корне неверной. Опиатное обезболивание и опиатный зуд – это совершенно разные явления. Один набор нейронов, расположенных в слое II заднего рога спинного мозга, получает сигналы боли и экспрессирует мю-опиатный рецептор. Когда опиаты (например, героин) поступают в этот рецептор, это препятствует движению электрических сигналов в головной мозг, тем самым облегчая боль. (Опиаты симулируют естественное действие эндорфинов, выделяемых нисходящей системой модуляции боли.) Другой набор нейронов в спинном мозге находится в слое I заднего рога спинного мозга и получает сигналы о зуде, передаваемые нейромедиатором GRP. Эти зудоспецифичные нейроны экспрессируют гибридный рецептор, одна часть которого является рецептором GRP, а другая – особым типом мю-опиатного рецептора MOR1D. Когда вы принимаете опиат, обезболивание и зуд вырабатываются одновременно, но посредством различных молекул рецепторов и различных нейронных цепей в спинном мозге. Приходится утешаться тем, что, видимо,

---

[138] В одном исследовании обезьянам делали укол небольшой дозы гистамина, что вызывало зуд. Это приводило к активации нейронов в спинобугорном пути спинного мозга, который передает сигналы зуда в головной мозг. Когда экспериментатор расчесывал область кожи вокруг места укола гистамина, это уменьшало активацию соответствующих нейронов. В контрольных экспериментах почесывание не снижало электрической активации нейронов в спинном мозге, возбужденных болью или легким прикосновением.

[139] Интересный вывод из этих размышлений об эволюции таков: животные, лишенные возможности чесаться или иным образом избавляться от насекомых и других паразитов на коже, должны обладать фундаментально иной системой обработки зуда в коже, спинном и головном мозге.

удастся разработать такое сочетание лекарств или новую производную морфина, которые будут облегчать боль и не вызывать зуда.

Как и в случае с болью, в головном мозге отсутствует единая зона, отвечающая за восприятие зуда. Если не разбираться детально, то при боли и зуде активируются почти одни и те же участки мозга. Зуд активирует как смыслоразличительные сенсорные зоны, такие как таламус, первичная и вторичная соматосенсорная кора, так и аффективно-эмоционально-когнитивные участки – мозжечковую миндалину, центральную долю, переднюю поясную и префронтальную кору. (Цепь боли см. на рис. 6.4.) И боль, и зуд опосредованно возбуждают зоны, ответственные за планирование движений и координацию, вызывая и изменяя соответствующие реакции.

Существуют различные формы дисфункций головного и спинного мозга, способные вызвать хронический зуд. Их причиной могут быть травмы, паралич определенных типов, опухоли мозга, инфекции, множественный склероз и другие аутоиммунные заболевания. Хронический зуд возникает также при повреждениях сенсорных нервов (вследствие их деформации, травм, опухолей, диабета, инфекций). Как и при боли, взаимодействие сенсорных нервов с головным мозгом проходит сложно: когда сенсорные нервы, по которым передается зуд, повреждаются, в мозг начинают поступать нерегулярные сигналы о зуде. Постоянная бомбардировка мозга этими сигналами или отсутствие нормальных сигналов может привести к изменению структуры цепей зуда в головном мозге. Так, у людей с ампутированными конечностями иногда развивается не только фантомная боль, но и фантомный зуд.

Одна из наиболее распространенных форм зуда, вызванного повреждением нейронов, наступает при опоясывающем лишае. Опоясывающий лишай – это часто встречающееся поражение сенсорных нервов вирусом «герпес зостер». Он характеризуется болезненной сыпью и чаще всего поражает пожилых людей или тех, кто испытывает проблемы с иммунной системой. Опоясывающий лишай разрушает сенсорные нейроны и в конце концов, особенно если затрагивает область головы, может привести к хронической безумной чесотке, которую нельзя эффективно вылечить ни антигистаминными, ни стероидными препаратами.

Наиболее яркий случай опоясывающего лишая, описанный в медицинской литературе, – это история М., 39-летней женщины, которая заболела опоясывающим лишаем, но успешно вылечилась благодаря противовирусным препаратам. Вскоре после этого она почувствовала зуд и онемение в правой части лба и начала расчесывать это место пальцами. Когда М. обратилась к врачам, они не обнаружили у нее ни инфекции, ни аллергических реакций; не удалось вылечить зуд и противовоспалительными кремами. Тогда ей сообщили, что ее зуд имеет психиатрическую природу и стал результатом депрессии и обсессивно-компульсивного расстройства. Но лечение соответствующими препаратами тоже не привело к облегчению зуда. Днем М. еще удавалось как-то противостоять желанию расчесывать зудящее место, зато ночью она яростно чесалась во сне. Она пробовала носить ночные колпаки, но утром неизменно обнаруживала, что колпак сорван, а подушка в крови. Со временем она счесала себе волосы на зудящем месте, сформировался струп. Через десять месяцев после того, как опоясывающий лишай вроде бы прошел, она с ужасом обнаружила, что по лицу у нее течет омерзительная зеленоватая жидкость.

М. приехала в приемный покой Массачусетской больницы общего профиля, где вскоре обнаружилось, что она счесала себе не только кожу (рис. 7.3): зеленоватая гадость, которая текла у нее по лицу, оказалась спинномозговой жидкостью. Хирурги провели пересадку кожи, чтобы прикрыть рану, но М. вскоре снова счесала заплатку во сне. После этого ее снабдили пенопластовым шлемом, а на ночь ей пришлось надевать рукавицы, привязанные к запястьям клейкой лентой. Психиатрическое тестирование, проведенное в тот момент, показало, что она не страдает обсессивно-компульсивным синдромом или галлюцинациями, но из-за неконтролируемой чесотки представляет опасность для себя самой. Два года она пролежала в терапевти-

ческом отделении и сейчас, спустя несколько лет, наконец-то живет независимо. Она способна контролировать ночную чесотку и разработала для этого целые стратегии: если приходится почесаться, она делает это мягкой тканью, свернутой в трубочку. Из-за повреждений мозга, нанесенных яростной чесоткой, у нее частично парализована левая сторона тела, изменились и ее личностные характеристики, как часто бывает при повреждениях передней доли головного мозга.





Рис. 7.3. Переболев опоясывающим лишаем, эта 39-летняя женщина стала страдать ужасным и не поддающимся лечению зудом в правой части лба. Из-за лишая кожа на этом участке онемела, так что она не чувствовала боли, счесывая себе кожу и череп, и в итоге добралась до мозга. Внизу: результат компьютерной томографии, где видны дыра в черепе, выступающая правая передняя доля мозга и повреждения мозговой ткани. Воспроизводится по: Oaklander A. L., Cohen S. P., Raju S. V. Y. Intractable postherpetic itch and cutaneous deafferentation after facial shingles. Pain 96. 2002. 9–12; с разрешения Elsevier

Неврологические причины столь ужасного зуда М. понятны не до конца.

Ее реакция на легкие прикосновения, температуру, боль и зуд нормальна для всех участков кожи, кроме хронически зудящего пятна в правой части лба. В этой зоне наблюдаются серьезные тактильные нарушения: она маловосприимчива к легким касаниям, температуре и боли, чем и объясняется, каким образом женщина прочесала кожу насквозь, не обезумев от боли. Биопсия тканей показала, что около 96 % сенсорных нервов на этом участке кожи погибли, но применение геля-анестетика, блокирующего работу нейронов, все же приносило временное облегчение зуда, из чего, видимо, следует, что даже немногих оставшихся нервов хватало для того, чтобы вызывать постоянный зуд. (И наоборот, те же самые нервные волокна передавали в ответ на расчесывание сигналы, облегчающие зуд.)

В каком-то смысле участок кожи в правой части лба М., потерявший большую часть нервных волокон, напоминает ампутированную конечность. Мозг получает скудную и нетипичную информацию и пытается интерпретировать эти нехарактерные сигналы. Также вполне вероятно, что мозг в ответ на повреждение нервов перепрограммировался, а результатом такого перепрограммирования стал хронический зуд. Однако зуд не мог стать результатом деятельности только соответствующих участков мозга, поскольку блокирование сигналов оставшихся в области лба сенсорных нервов приносит временное облегчение. Также вряд ли можно предположить, что мозг функционирует вполне нормально, а хронический зуд вызван только хаотичными сигналами сенсорных нервов. Наиболее вероятное объяснение в том, что сигналы от оставшихся сенсорных нервов вызывают хаотичную деятельность центров обработки зуда в головном мозге, создавая адский, беспощадный зуд.

Те, кто пришел на бесплатную публичную лекцию в немецком университетском городке Гиссен, не знали, что станут участниками необычного эксперимента. Название лекции, подготовленной в сотрудничестве с одним из телеканалов, гласило: «Зуд: что за ним кроется?» Видеокамеры в зале были направлены не только на лектора, но и на аудиторию. Целью эксперимента было выяснить, можно ли вызвать у слушателей ощущение зуда, показывая им фотографии блох, клещей, струпьев и сыпи на коже. В качестве контрольных вариантов показывались также фотографии купальщиков и матерей с новорожденными младенцами (то есть людей с мягкой, увлажненной кожей, очевидно не испытывающих зуда). Неудивительно, что слушатели при виде фотографий, наводящих на мысль о зуде, стали интенсивно почесываться. Последующие лабораторные эксперименты, участники которых смотрели похожие видеофильмы, подтвердили это предположение и показали, что для того, чтобы испытывать такое социальное заражение зудом, необязательно страдать от какой-то его формы. Интересный вариант объяснения этого феномена состоит в том, что люди, обладающие большей эмпатией, чаще начинают чесаться, когда видят, как чешутся другие. Но когда участники эксперимента заполнили соответствующие опросники, корреляции между социальным зудом и эмпатией не обнаружилось. Оказалось, что социальный зуд наиболее характерен для людей, наиболее склонных к отрицательным эмоциям (с высокой невротичностью).

Почему, когда мы видим, как кто-то ушиб себе палец молотком, мы обычно не убираем собственные пальцы подальше, а при виде того, что другие чешутся, начинаем сами испытывать зуд и чесаться? Пока наилучшее объяснение следующее: в течение большей части чело-

веческой истории нам постоянно угрожали паразиты – переносчики заболеваний и токсинов. И если рядом с человеком кто-то начинал чесаться, были серьезные основания полагать, что и ему самому угрожает то же самое опасное насекомое, червяк и т. д. Поэтому почувствовать зуд и начать чесаться, сводя к минимуму риск, было адаптивным преимуществом. Напротив, боль не заразительна, поскольку не передается от человека к человеку.

Представьте себе, что вы едете в метро и человек напротив вас вдруг начинает яростно чесаться. Зуд явно мучителен, но ответьте честно: что вы почувствуете прежде всего – сострадание или отвращение? Этот вопрос рассматривает Андре Жид:

> Зуд, от которого я страдаю уже несколько месяцев… в последнее время стал невыносим. Вот уже несколько ночей я не смыкаю глаз. Я вспоминаю Иова, ищущего черепицу, чтобы скоблить себя ею, и Флобера, чьи письма в конце жизни рассказывают о подобной же чесотке. Я говорю себе, что все мы страдаем по-своему и что крайне неразумно желать изменить свои страдания; но уверен, что настоящая боль меньше привлекала бы мое внимание и переносилась бы гораздо легче. Кроме того, на шкале страданий истинная боль выглядит благороднее и царственнее; зуд же – это низкий, смешной недуг, в котором и признаться-то невозможно; человека страдающего жалеют – над человеком чешущимся смеются.[140]

Невыносимый зуд – возможно, действительно худшая форма пытки органов чувств. Возможно, Данте стоило приберечь его для худших грешников в самом последнем кругу ада. Тягу к чесотке нельзя превозмочь, а когда мы чешемся, наши близкие относятся к нам с презрением и считают вдвойне омерзительными: не только запаршивевшими, но еще и слабовольными.

---

[140] Дневник Андре Жида, запись от 19 марта 1931 года.

Глава 8
Иллюзия и трансцендентность

Осязательный мир как таковой удивительно запутан и сложен. Он не сводится к простой сумме осязательных стимулов – немного боли в животе, немного легкого поглаживания по руке. В начале XX века психологи, изучавшие восприятие, стали понимать, что многие из наиболее важных и мотивирующих тактильных ощущений, такие как влажность, сальность или липкость, возможно, не являются базовыми осязательными ощущениями, для каждого из которых предназначаются отдельные рецепторы; вернее было бы назвать их осязательными сплавами. Старые научные труды – это восхитительное чтение. Для исследования того, что вызывает ощущение «клейкости», М. Дж. Зиглер из Принстонского университета применял ряд все более неприятных стимулов. В 1923 году он цитировал одного более раннего экспериментатора, который рассказывал об «ощущении отвратительной клейкости, которое появляется, если в темноте ткнуть пальцем в холодную вареную картошку». Холодная вареная картошка оказалась недостаточно клейкой, поэтому Зиглер стал искать более эффективные осязательные стимулы и в конечном счете остановился на мокрой детской перчатке, наполненной размоченной овсянкой. Он сделал вывод, что клейкость – это сплав осязательных ощущений, прежде всего холода и текучей мягкости, и зашел еще дальше, утверждая, что «подлинные ощущения клейкости» всегда будут считаться неприятными.[141]

Чтобы изучить восприятие влажности посредством осязания, И. М. Бентли из Корнеллского университета прежде всего решил исключить работу других чувств. Он завязывал испытуемым глаза, затыкал уши ватой. Их правые руки клали ладонями вниз, так, чтобы вытянутые средние пальцы свисали со стола. Тестовые жидкости – ртуть, бензин, вода, масло семян чиа,[142] патока, бензол и эфир – были разлиты по стаканам, которые с помощью системы блоков осторожно поднимали так, чтобы в них погрузился палец. Бентли писал: «Восприятие влажности обычно кажется уникальным: или палец касается влажной поверхности, или вся рука погружается в жидкость, но человек просто говорит, что он «чувствует влажность». Это поразительный случай смешения ощущения и восприятия». После нескольких страниц рассуждений он наконец заключал, что восприятие влажности – это тоже осязательный сплав, наибольшее значение для которого имеют температура и давление.[143]

Правы ли были Бентли и Зиглер в отношении сложной природы изучавшихся ими типов комплексного осязательного восприятия или же можно ожидать, что в один прекрасный день будут обнаружены отдельные молекулы особых сенсорных нейронов, отвечающих за восприятие влажности или клейкости (или липкости, или жирности)? Почти наверняка верен первый ответ. Ни один эксперимент в области человеческого восприятия, ни одна запись сигналов отдельных сенсорных нервных волокон, ни одно молекулярное генетическое исследование не указывает на наличие специальных сенсорных нейронов, отвечающих за эти ощущения.

---

141 Липкость – это очень странное ощущение. Оно неприятно, отчасти, возможно, из-за ассоциаций с мертвой плотью гомойотермных животных и живыми пойкилотермными (холоднокровными) организмами.

142 Масло из семян растения *Salvia hispanica*.

143 Бентли анализировал восприятие влажности в полностью контролируемой ситуации, когда испытуемый не имел возможности прикоснуться к чему-либо собственным пальцем. В реальном же мире бóльшая часть восприятия влажности рукой связана с активными прикосновениями. Недавно были проведены эксперименты, в которых участникам разрешалось исследовать влажную поверхность подушечками пальцев. В одном из них определенный профиль трения и ускорения (так называемый прерывистый сдвиг) оказался надежным способом различения воды и липких и плотных жидкостей. Когда на кончик пальцев воздействовали силой прерывистого сдвига, копируя ощущения от соприкосновения с водой при помощи специального стекла, оборудованного ультразвуковыми стимуляторами, удавалось эффективно симулировать ощущения от покрытой водой поверхности: участники эксперимента считали стекло влажным, хотя оно таким не было.

Возможно, вы подумали, что этот аргумент в пользу существования осязательных сплавов не что иное, как подмена тезиса: разве можно вообще предполагать наличие особых сенсорных нейронов для таких ощущений, как влажность или клейкость? Но предыдущий опыт побуждает нас не спешить с выводами. Только в последнее время мы получили надежные свидетельства существования отдельных рецепторов зуда, а прежде вполне разумным было считать, что зуд – это тоже сплав осязательных ощущений. Таково фундаментальное свойство биологии: ни философские рассуждения, ни лингвистический анализ, ни рефлексия не способны решить подобные вопросы.

Итак, что мы знаем об осязании? Начнем с кожи: там у нас целый набор нервных окончаний – от простых нервов до специализированных структур сложной и причудливой формы. Каждая из них – это молекулярная машина, прошедшая тонкую настройку эволюцией и способная извлекать различные аспекты информации о нашем осязательном мире. Нервные волокна, передающие информацию от осязательных рецепторов кожи к спинному мозгу, в основном (но не полностью) специализируются на единственном классе механических осязательных ощущений: одни отвечают за грубую текстуру, другие – за вибрацию, третьи – за растяжение. Удивительно, но у нас есть даже специальные рецепторы для ласки, зуда и, вполне вероятно, сексуальных прикосновений. Некоторые из этих потоков информации передаются быстрыми волокнами, а некоторые – медленными. Поэтому в мозг они поступают с различной задержкой. Чаще всего медленно передаваемая информация (например, касающаяся ласки или второй волны боли) активирует эмоционально-аффективно-когнитивные части осязательной информационной цепочки в мозге, а быстро получаемая информация от традиционных механорецепторов воздействует на сенсорно-смыслоразличительные центры. Потоки осязательной информации от различных специализированных детекторов комбинируются с сигналами, касающимися внимания, эмоционального состояния и предыдущего опыта, так что к тому времени, когда мы получаем постоянный доступ к осязательным ощущениям, они обретают форму единого и удобного продукта восприятия, обладающего и смыслоразличительными, и эмоциональными свойствами.

Важно, что наш мозг – не пассивный реципиент осязательной информации; он может отправлять нисходящие сигналы в спинной мозг, притупляя или заостряя осязательные сигналы еще до того, как они достигнут мозга головного. Легче всего это увидеть на примере нисходящей болевой цепи, но, судя по всему, это верно и для остальных аспектов осязания. Осязательные цепи головного и спинного мозга созданы для решения конкретных эволюционных проблем: найти еду, избежать опасности, спариться, защитить потомство и т. д. И действительно, все осязательные ощущения (да и вообще любые) в конечном счете подчинены конкретным задачам. Наша осязательная система предназначена не для того, чтобы верно передавать информацию об окружающей среде, а для того, чтобы делать логические выводы об осязательном мире на основании наших ожиданий, которые обусловлены как историческим опытом предков, так и собственными предыдущими впечатлениями. Наконец, мы узнали, что прикосновения личного характера не просто играют важную роль в раннем развитии человека, но и сохраняют свое значение в течение его общественной жизни, способствуя развитию доверия и сотрудничества и тем самым оказывая серьезное влияние на восприятие нами других.

Значение всех этих открытий в области осязания очень велико, поскольку помогают нам понять главные аспекты человеческого существования. Но пока наше понимание осязания довольно-таки ограничено. Нам нужно зайти дальше, чем засыпка мокрой овсянки в детские перчатки, и расширить свое представление о тактильном мире. Надо исследовать не только смешанные осязательные ощущения, но и результаты смешивания осязательных и неосязательных впечатлений. Наконец, нам нужно выйти за пределы обычных осязательных ощущений и разобраться с такими явлениями, как иллюзии, повседневные галлюцинации и трансцендент-

ный осязательный опыт, который, на первый взгляд, можно объяснить лишь сверхъестественным вмешательством.

Когда моим близнецам Натали и Джейкобу было примерно три года, они полюбили игру, которая неизменно заканчивалась слезами и ушибами. Они стояли по обе стороны двери ванной и по очереди толкали ее друг к другу. Дети хорошо ладили и никогда не увлекались обычным пиханием, но играть с дверью ванной любили. Игра нравилась им еще и потому, что они не видели друг друга, и это придавало двери одушевленность, словно она была наделена собственной жизненной силой, как предметы в их любимых мультиках.

Хотя игра начиналась с легких толчков, они неизбежно становились все сильнее и мощнее, пока кому-то из детей не попадало по голове, так что приходилось вмешиваться родителям.

– Натали, почему ты стукнула Джейкоба дверью по лицу?

– Я не виновата. Мы толкали по очереди, но он все время толкал сильнее, и я тоже.

– Нет, Налли! – вмешивался Джейкоб (в три года он не выговаривал имя сестры). – Ты *сама* все время толкала сильнее.

– Нет! Это *ты*!

– Дети, – говорил я им тогда, – я не хочу, чтобы вы больше играли с дверью. Кто-то наверняка ушибется.

– Хорошо, папа, – говорили они в один голос, но почти моментально забывали и думать о своем обещании.

Хотя в усиление толчков вносят свой вклад и социальные факторы, в основном явление объясняется нейробиологическими процессами в ходе обработки осязательной информации. Мы склонны обращать меньше внимания на осязательные сигналы, связанные с нашими собственными движениями, чем на сигналы извне. Например, когда мы идем по улице, то почти не замечаем прикосновений собственной одежды к коже. Но если бы мы испытывали те же ощущения, стоя на месте, это было бы крайне подозрительно и незамедлительно привлекло бы наше внимание: что это – или кто это – так трет? И это вполне оправданно: ощущения, получаемые извне, с наибольшей вероятностью требуют внимания, поскольку либо потенциально опасны, либо имеют иной смысл (заигрывающий, приносящий удовольствие, озадачивающий).

В игре с дверью ванной Натали и Джейкоб пытались сравняться друг с другом силой, толкая дверь по очереди. Но эта задача практически невыполнима. Когда Натали толкала с силой в две единицы, Джейкоб чувствовал, как к его ладоням прикладываются две единицы силы. Но когда он пытался приложить те же две единицы силы, у него выходило три. Почему? Потому что три единицы собственной силы давали те же ощущения давления на кожу ладоней, что и две единицы силы, примененные его сестрой. Натали же ощущала три единицы силы после толчка Джейкоба и прикладывала четыре – и так до бесконечности.[144]

---

[144] Существует отличный эксперимент, в ходе которого подобный зеркальный сценарий был реализован в лабораторных условиях. Два человека смотрели друг на друга, левый указательный палец каждого из них находился под давлением. Затем к каждому из этих пальцев приложили металлическую пластину на крючке. Крючок был снабжен сенсором, который измерял силу приложения пластины. Обоим участникам давались одинаковые инструкции: воздействовать на пластину с той же силой, которая воздействует на него самого. При этом ни один из участников не знал указаний, данных другому. Когда участники начали прижимать пластинку к пальцам друг друга, приложенная сила стала неуклонно расти, как и в истории с Натали, Джейкобом и дверью. Оба участника утверждали, что используют ровно ту силу, которая применяется к ним самим. Когда каждого попросили угадать указания, данные другому, оба ответили: «Вы просили его давить в два раза сильнее». Затем эксперимент модифицировали: давление теперь осуществлялось через джойстик, который контролировал пластинку. Основные различия состояли в том, что если сила создается прикладыванием пластинки, то более сильное нажатие требует усилий от кончика пальца, что ощущается тем, кто нажимает. Если же используется джойстик, то работу делает механизм, так что корреляции между усилиями кончика пальца и силой, приложенной к поднятому пальцу другого участника, нет. В этом случае значительного увеличения силы не произошло.

Недооценка собственной силы при осязании случается во многих тактильных ситуациях. Как уже говорилось в главе 6, доказано, что боль, причиненная самому себе, кажется менее интенсивной и менее неприятной, чем точно такая же боль, причиненная другим человеком или случайным образом сгенерированным стимулом. Ну и, разумеется, секс с партнером, в котором каждый двигается независимо друг от друга, приносит совершенно иные ощущения, чем самоудовлетворение, при котором мозг предсказывает ваши автостимулирующие движения (даже если вы используете механическое устройство вроде вибратора).

В чем нейронная основа приглушения ощущений при осязании самого себя? Один из наиболее очевидных ответов дает исследование щекотки. Большинство людей не могут пощекотать себя сами; тактильное ощущение при такой щекотке гораздо слабее, чем если вас щекочет кто-то другой. Сара-Джейн Блейкмор и ее коллеги по Институту неврологии в Лондоне поставили эксперименты, в которых участников, находящихся в томографе, щекотали или же они щекотали сами себя. Эксперимент тщательно контролировался: место, сила и характер щекотки были одинаковыми и когда щекотал другой, и когда участники щекотали себя сами. Щекотка активировала и смыслоразличительные области осязательной цепочки (первичная и вторичная соматосенсорная кора), и определенные зоны эмоционально-аффективно-когнитивной осязательной цепочки (передняя поясная кора). Когда же испытуемые щекотали себя сами, активация этих зон мозга оказалась очень ограниченной. В то же время такая щекотка привела к значительной стимуляции мозжечка – структуры, которая получает осязательные сигналы и указания из других районов мозга, побуждающих к движению (например, электрические сигналы, которые проходят через нейроны и контролируют мышцы рук, когда щекочешь себя сам). Мозжечок активируется, если указания к движению определенным образом соотносятся с сенсорной реакцией осязательных центров на коже. Затем отправляется сигнал в осязательные центры (и другие зоны) мозга, в результате чего активация приглушается и, если пощекотать себя самому, ощущения становятся менее выраженными.[145]

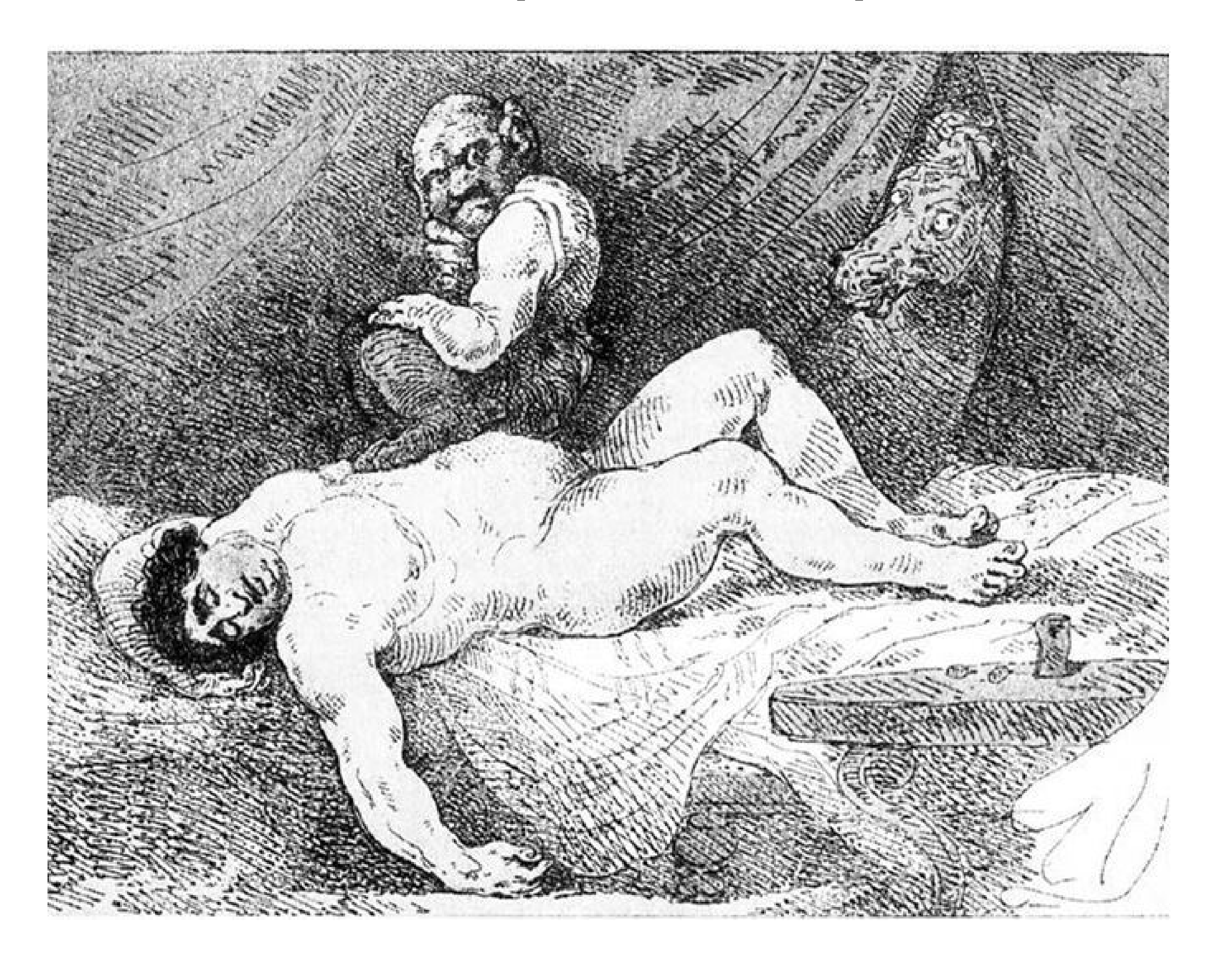
Невозможность самого себя пощекотать основана на тесной связи между щекочущими движениями и осязательными ощущениями. Когда между щекочущей собственной рукой и кожей был установлен посредник – механическая щекочущая машинка, так что движения руки переходили в движения кожи не сразу, как это было бы при естественной самостоятельной щекотке, а с задержкой в 200 миллисекунд, то ощущения стали гораздо сильнее. Когда компьютер изменил направление щекотки (например, не сверху вниз, а из стороны в сторону), сила ощущений снова увеличилась. Картографирование мозга в этих случаях показало, что, поскольку сигналам, побуждающим к движению, больше не соответствовали ощущения той части кожи, которую щекотали, активность мозжечка снизилась, что привело к дальнейшей активации осязательной цепочки мозга и еще усилило ощущения щекотки.[146] Интересно, что некоторым людям с повреждениями мозжечка удается успешно щекотать себя. Это получается и у некоторых шизофреников (у которых, впрочем, тоже нередко встречается дисфункция моз-

[145] Недооценка собственных прикосновений – лишь один из примеров более общего феномена, при котором мозг игнорирует или недооценивает сенсорные последствия самостоятельных движений. Когда мы двигаем голосовыми связками при разговоре, это временно снижает нашу способность воспринимать звук, особенно чужие голоса: трудно говорить и слушать одновременно. Зрительная система дает еще более наглядный пример. Ваши глаза постоянно блуждают по пространству, совершая быстрые скачкообразные движения. Если бы мы попытались воспроизвести эти движения видеокамерой и затем посмотреть получившуюся запись на экране, то и смотреть, и понимать ее будет трудно. А вот в мозге существует особая цепь, которая неизменно вычеркивает постоянно воспринимаемый поток визуальной информации в ходе таких движений и отбирает лишь более стабильные части информационного потока, создавая полезные визуальные образы, которые кажутся гладкими и связными. Движения визуального мира, вызванные быстрыми движениями глаз, не просто недооцениваются, но полностью подавляются.

[146] Вы подумали о том же, что и я? Если можно сделать устройство, которое вызывает ощущения щекотки при самостоятельном щекотании, вводя задержки и кинетические изменения, то почему бы не применить эту стратегию для разработки секс-игрушек? Только представьте себе: вибратор, подавляющий функцию мозжечка и вызывающий непередаваемые осязательные ощущения! Зайду-ка я на Kickstarter. Сейчас вернусь.

жечка). Возможно, в обоих случаях мозжечковые цепочки, которые должны сравнивать указания к движению с сенсорными реакциями, функционируют ненадлежащим образом. В результате самопорожденные осязательные ощущения кажутся вызванными внешним миром.[147]

Тактильная путаница при шизофрении или нарушении деятельности мозжечка напоминает другое состояние, которое все мы испытывали: в полусне у нас порой бывают галлюцинации, природа которых неясна. В одном исследовании рассказывается о женщине, которая, только что проснувшись от фазы быстрого сна (в которой сюжетные сновидения обычно и происходят), сообщила, что испытывала гораздо более сильные ощущения от самощекотания, чем обычно. Возможно, соответствующие цепочки мозга, которые отвечают за общение между корой и мозжечком, во время фазы быстрого сна оказываются подавленными и восстанавливаются только после пробуждения. В фазе же быстрого сна команды, исходящие из центров контроля движений в головном мозге, активно блокируются, а потому не попадают в спинной мозг и тем более в мышцы. Из-за этой блокады тело почти полностью обмякает – расслабляются даже мышцы, которые обычно сжаты в ходе других фаз сна. Поэтому фаза быстрого сна невозможна в сидячем положении: вы просто сползете на пол и проснетесь.[148]



[147] Как и другие осязательные ощущения, щекотка может зависеть от когнитивных и эмоциональных факторов. Трудно успешно пощекотать человека, который сердится или печалится. Помню, подростками мы играли в игру, целью которой было не засмеяться при щекотке. В моей компании Т. был настоящим асом игры, а я играл не очень хорошо – довести меня до смеха было легко. Чтобы улучшить свои результаты, я стал изучать его лицо во время игры и увидел, что он придает себе намеренно мрачный вид. Я попытался повторить, и это сработало: если вы сможете заставить себя сердиться (например, вспомнив какую-то несправедливость в прошлом), то устойчивость к щекотке значительно возрастет.

[148] Мышцы, которые контролируются спинным мозгом, полностью расслабляются в фазе быстрого сна, а те, что контролируются мозговым стволом, – нет. Отсюда и английское название фазы быстрого сна: REM – rapid eye movements (быстрые движения глаз).

Рис. 8.1. Мужской демон сна, так называемый инкуб, всем телом наваливается на живот спящего человека. Во многих культурах считается, что сексуальные отношения с инкубом могут привести к заболеванию или даже смерти. Легенды об инкубах (и женских демонах суккубах) могут частично быть вызваны состоянием сонного паралича, при котором пробуждение от сюжетного сна сопровождается ощущением навалившегося веса. Гравюра «Кошмар в Ковент-Гардене», созданная Томасом Роулендсоном в 1784 году, – сатирическая адаптация знаменитой картины Генри Фюзели «Ночной кошмар» (1781), на которой изображена привлекательная молодая женщина – здесь ее место занимает британский политик Чарльз Джеймс Фокс. Используется с разрешения Центра архивов Вестминстера

Вялый паралич во время фазы быстрого сна порождает еще одно явление. Хотя большинство людей почти сразу после пробуждения от быстрого сна обретают контроль над мышцами, у некоторых это занимает десятки секунд или даже минут.

В этой ситуации только что проснувшиеся люди временно парализованы. Порожденным мозгом командам к движению не соответствуют осязательные или проприоцептивные сигналы, так что он делает предположение о том, что на тело давит какой-то вес, движению препятствующий. Эта устрашающая тактильная галлюцинация встречается довольно часто [149] и, возможно, оказала влияние на появление распространенных в ряде культур сюжетов о злобных демонах сна, наваливающихся на грудь и живот (рис. 8.1).

Сенсорные иллюзии бывают забавными и порой позволяют чуть больше узнать о подсознательных стратегиях восприятия, формируемых в мозге. В области осязания иллюзий бывает довольно много. Моя любимая называется «кролик по коже» (*«Cutaneous rabbit»*).[150] Если вы закроете глаза, и я шесть раз легонько стукну вас по внутренней части руки с равными интервалами, причем первые три придутся вам по запястью, а еще три – по сгибу локтя, то вы ощутите первый удар по запястью, а следующие пять, как вам покажется, будут взбираться все ближе по направлению к локтю – по коже, на которую никакого воздействия не оказывается (рис. 8.2). Мы знаем, что этот эффект возникает в головном мозге, а не в кожных механорецепторах, потому что такие «прыжки кролика» ощущаются, даже если сама рука находится под анестезией. Более того, когда иллюзию «кролик по коже» испытывает человек, находящийся в томографе, шаблон активации совпадает с иллюзорным опытом: в соматосенсорной коре происходит активация соответствующих частей руки на карте мозга, как при действительных скачках.[151]

---

[149] Blagrove M., Blakemore S.-J., Thayer B. R. J. The ability to self-tickle following Rapid Eye Movement sleep dreaming // Consciousness and Cognition 15. 2006. 285–294. Эти авторы считают, что по меньшей мере 8 % населения Земли хотя бы однажды испытывали сонный паралич. Сюда относится 28 % студентов и 32 % пациентов психиатра.

[150] Если кто-то из вас, хипстеры, захочет назвать свою альтернативную группу *Cutaneous Rabbit* («Кролик по коже»), я возражать не стану.

[151] Сейчас различные ученые проводят подробное изучение разных аспектов иллюзии «кролик по коже». Например, иллюзия сохраняется, если части тела не соседствуют. Если сначала постукивать по безымянному пальцу, а затем по указательному, создается ощущение перепрыгивания стимула, который по дороге затронет и средний палец. В одном исследовании участникам клали на пальцы палочку и постукивали по ее краям, при этом они чувствовали фантомные удары в пространстве между ударами действительными – то есть на уровне середины палочки. Это дает основания предположить, что иллюзия «кролик по коже» задействует не только карту тела, но и отображение в мозге расширенной схемы тела, полученной в результате взаимодействия тела с различными объектами.

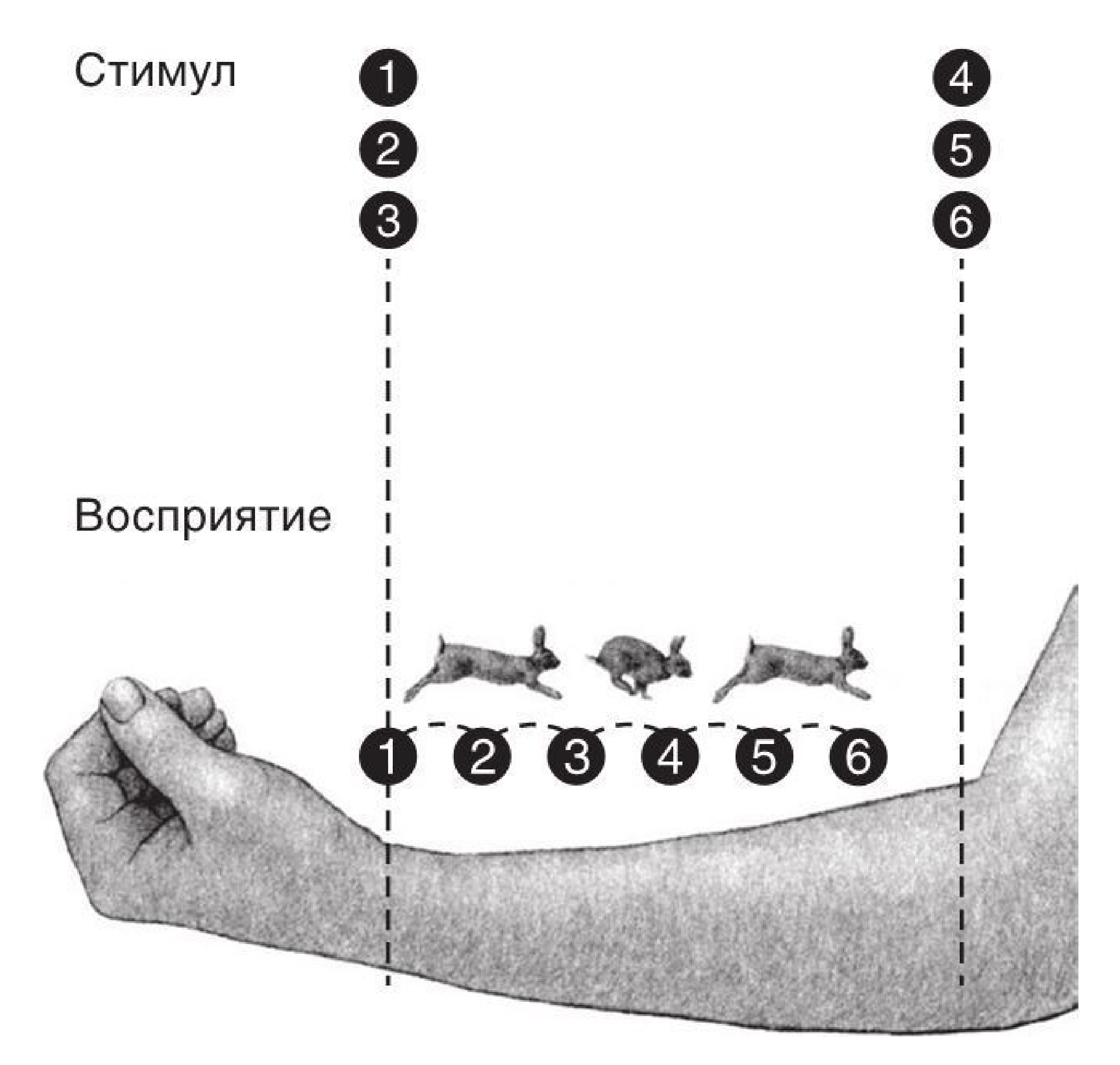


Рис. 8.2. Иллюзия «кролик по коже». Три удара по запястью, после которых быстро следуют три удара по внутренней стороне локтя, воспринимаются как удар по запястью, за которым следует последовательное движение болевого стимула по внутренней стороне руки в сторону локтя

Хотя мы не до конца понимаем неврологическую основу иллюзии «кролик по коже», наиболее убедительная гипотеза связана с ожиданием. В соответствии либо с личным, либо с генетически заложенным опытом мы ждем, что стимулы подобного рода обычно медленно распространяются по коже. Поэтому, когда между третьим и четвертым ударами возникает значительное пространство, ощущение от ударов 4–6 сливается с ожиданием того, что такие типы сигналов распространяются медленно.

В результате восприятие удара по части руки между запястьем и локтем вызвано вмешательством мозга – это своего рода компромисс между осязательными сигналами, получаемыми от кожи, и ожиданием медленного движения. Самое странное, что изменяется и восприятие второго и третьего ударов. Этот эффект называется постдикцией и основан на краткой (примерно 0,2 секунды) задержке между временем нанесения удара по коже и временем его восприятия. В течение этой задержки мозг может изменить обработку осязательного сигнала на основании продолжающегося притока информации, сопряженной с ожиданиями. Происходит своего рода небольшое путешествие во времени, меняющее восприятие только что произошедших событий.

Наш мозг естественным образом связывает воедино информацию от нескольких органов чувств, создавая целостное восприятие событий и объектов. Предварительные ожидания могут порождать иллюзии и в том случае, если осязательные ощущения совпадают с другим сенсорным стимулом – например, звуком. Так, когда вы потираете руки, как замышляющий недоброе злодей из старого фильма, вы одновременно чувствуете трение кожи ладоней и слышите похожий на шепот звук, вызванный этим потиранием. В одном хитром эксперименте участникам предлагалось потирать руки, а получавшийся звук записывали на магнитофон и потом проигрывали этим же участникам через наушники. В некоторых случаях звук в наушниках не подвергался изменениям, а в других подчеркивались высокие частоты, что заставляло участников эксперимента считать свою кожу более гладкой и сухой, похожей на бумагу. Отсюда и название этого эффекта – иллюзия пергаментной кожи. Когда же при помощи технических средств звук был отсрочен на одну десятую секунды, иллюзия рухнула и участники снова воспринимали свою кожу нормальным образом. Чтобы мозг преобразовывал высокочастотные звуки в восприятие кожи как более сухой и гладкой, нам должно казаться, что звук явился непосредственным результатом потирания рук.

В 1846 году Эрнст Вебер, один из основателей современной психологии, сообщил, что большая холодная монета (прусский серебряный талер), положенная на лоб, кажется гораздо тяжелее, чем теплая. Притом эффект действительно очень значителен: большинство участников таких экспериментов утверждали, что холодная монета весит в четыре раза больше теплой. Подобный результат получится, если положить монету на предплечье.[152] Вообще мы не всегда автоматически предполагаем, что холодные объекты тяжелее, так что объяснение должно крыться в области сенсорных нервов, а не головного мозга. Многие диски Меркеля, которые реагируют на устойчивое давление, активируются и при внезапном охлаждении кожи, и, судя по всему, именно эта активация и лежит в основе температурно-весовой иллюзии. Из этого следует, что не все тактильные иллюзии связаны с предварительными ожиданиями или какими-то другими процессами в головном мозге. Их причиной может быть особая настройка сенсорных нейронов в коже.

Теперь перейдем от иллюзорного к трансцендентному. Несколько месяцев назад я сжимал в объятиях З., и ее кожа казалась мне восхитительной – не просто мягкой и теплой, а искрящейся и сияющей. В какой-то момент мы гладили друг друга по рукам, шее и спине, и это было что-то невероятное: мы оба чувствовали электрические искры любовного притяжения. Через несколько минут, продолжая ласкать друг друга и разговаривать, мы в чем-то не сошлись – легкая рябь на спокойной и приятной воде беседы. Спустя еще несколько минут недоразумение было исчерпано, и, когда мы снова сблизились, она спросила: «Заметил, как изменились ощущения, едва настроение у нас поменялось? Что-то в текстуре кожи превратило искрящиеся ощущения в самые обычные. А потом, когда все пошло на лад, ты заметил, что искры вернулись?» Я действительно заметил.

Мало кому не случалось испытывать от прикосновений любимых подобные чудесные, сплачивающие ощущения. Можно ли выяснить их нейробиологическую природу? Дело не просто в таких сенсорных характеристиках, как мягкость, теплота и податливость. Ведь гладить кошку тоже приятно, а шкурка у нее порой еще мягче и теплее, чем у вашего партнера, но романтических ощущений при этом как-то не возникает.[153] По большей части ощущения от любовных прикосновений удается объяснить эмоциональными и когнитивными модуляциями осязательного восприятия в головном мозге. Мы уже говорили, как эти модуляции влияют на восприятие боли, и нет ничего удивительного в том, что они способны подчинять себе и другие

---

[152] Интересно, что температурно-весовая иллюзия возникает лишь при пассивном восприятии веса и не работает, если вы, например, взвешиваете монетку в ладони.

[153] Хотя это, наверное, у кого как: поглаживания разные бывают.

осязательные ощущения. Но любовные искры нельзя объяснить исключительно деятельностью мозга.

Помимо сенсорных нервов, передающих осязательную информацию в головной мозг, существуют и автономные нервные окончания, которые позволяют мозгу действительно изменять свойства кожи. Эмоциональное состояние человека может приводить к подсознательной активации автономной нервной системы, что влияет на потоотделение и кровоток на соответствующих участках; у нас встают дыбом волоски на коже, особенно на руках. (Конечно, эти эмоциональные изменения кожи сопровождаются и другими изменениями в организме: в дыхании, пульсе, мышечных сокращениях и т. д.) Когда эмоциональное состояние меняет кожу – например, вызывает потоотделение или поднимает дыбом волоски, это отражается на прикосновениях к другому человеку. Рецепторы ласки и других прикосновений, активируемые поднявшимися волосками, кодируют движения по-другому по сравнению с теми участками, где волоски лежат спокойно. Точно так же пот влияет на то, как ваши рецепторы текстуры и давления активируются при контакте с кожей партнера. Эти непроизвольные изменения в свойствах кожи приводят к тому, что она кажется иной и вашему партнеру, а ваше собственное эмоциональное состояние изменится при восприятии реакции вашего партнера на осязательный контакт с вами. Это не просто встреча разумов или кожных покровов, а активный двусторонний диалог между мозгом и кожей, который при благоприятном развитии событий положительно отражается на организмах обоих партнеров.[154]

Схема нашего организма – пространственная карта тела, отображенная в головном мозге, – способна расширяться и трансформироваться, включая в себя неодушевленные объекты, которые мы трогаем и держим. Это объясняет, почему мы инстинктивно пригибаем голову, когда ведем машину, с трудом проходящую под мостом, а техасские политики в ковбойских шляпах нагибаются, проходя в высоченные двери Капитолия: их шляпы стали уже продолжением их тел. Точно так же у землекопов схема организма включает в себя лопату, у скрипачей – смычок. То и другое можно рассматривать как набор дополнительных осязательных рецепторов. Но эти полезные, хотя и странные эффекты не ограничиваются тем, к чему мы действительно прикасаемся. Мы реагируем и на такие сенсорные стимулы, которые вообще никак не воздействуют на организм.

Когда мои дети были еще маленькими, им нравилась щекотка. Вскоре я узнал то, что знают все родители: если детей уже несколько раз пощекотали и они хорошенько завелись, их удается довести до конвульсивного смеха даже не касаясь. Обычно достаточно покачать пальцами в нескольких сантиметрах от ребер. Эффект будет еще сильнее, если издать звук, который ассоциируется с щекоткой (я обычно издаю высокий пронзительный звук, похожий на тот, что издает колибри), и затем повторять этот звук при фантомной щекотке. Большинство с возрастом теряет чувствительность к фантомной щекотке, но у некоторых она сохраняется.

Современным эквивалентом фантомной щекотки для взрослых служат фантомные вибрации мобильника. В недавнем исследовании медперсонала научно-медицинского центра в Массачусетсе 68 % обладателей мобильных сообщили, что им доводилось ощущать вибрации телефона, хотя на самом деле он не только не вибрировал, а порой даже его не было у них при себе. 13 % респондентов признались, что чувствуют такие фантомные вибрации по меньшей мере раз в день. Те, кто носит телефон в нагрудном кармане, испытывают фантомные вибрации чаще, чем те, у кого телефон пристегнут к поясу. Если фантомная щекотка – это неосязательный стимул (участвуют зрение и слух), который воспринимается как прикосновение, то фантомные вибрации мобильного телефона не вызваны никаким стимулом, так что их допустимо квалифицировать как полноценную галлюцинацию. Как фантомная щекотка, так и фантомные

[154] Серьезных исследований межличностного осязания, связанных с двойным сканированием мозга, пока не проводилось.

вибрации сотового – результаты ожидания, основанного на предыдущем опыте. Если исследовать эти явления с помощью томографа, вероятно, он покажет активацию соответствующего участка карты тела в первичной соматосенсорной коре.

У меня разнылся палец,
К нам идет дурной скиталец.[155]

Уильям Шекспир. Макбет.
(Перевод М. Лозинского)

Многие любят рассказывать о загадочных тактильных ощущениях, подобных предчувствию шекспировской ведьмы.

«Мой дедушка заранее чувствует перемену погоды – у него артрозное колено разбаливается».

«У меня всегда зудит шея перед дурными новостями».

Подобная информация обычно сообщается благоговейным или, во всяком случае, значительным тоном. Говорящий подразумевает, что, дескать, существуют явления, которые нельзя объяснить только нашим пониманием мира природы: они требуют сверхъестественных толкований какого-либо рода. В случае с артрозным коленом можно представить себе, что изменения атмосферного давления, которые предшествуют погодным событиям, слегка меняют конфигурацию хрящевых тканей, и получить вполне естественно-научное объяснение. Но эта идея опровергается многочисленными данными: несмотря на широко распространенные верования, сохраняющиеся со времен Гиппократа (около 400 г. до н. э.), исследования не установили четкой связи между болями при артрозе и погодой. Если же говорить о предсказательной силе зуда в шее, то наиболее вероятное объяснение – избирательность воспоминаний: случаи, когда за зудом в шее не следовали дурные новости, мы забываем, помня только подтверждающий опыт, что и приводит к ложной корреляции.

Как вы понимаете, я, как и большинство ученых, отношусь к подобным заявлениям скептически. Но буквально неделю назад в ресторане я ощутил странное покалывание в затылке, и мне показалось, что за мной наблюдают. Я повернулся – и действительно, в двух столиках от меня сидела пожилая пара и смотрела прямо на меня. Я помахал им рукой, они опустили глаза на тарелки, жизнь продолжилась. Итак, мы испытываем осязательные ощущения, когда на нас смотрят. Конечно, избирательность воспоминаний играет здесь свою роль. Я склонен помнить случаи, когда, обернувшись, действительно обнаружил наблюдение, и забывать о том, когда никто на меня на самом деле не смотрел. Но мне не кажется, что избирательность воспоминаний объясняет этот феномен полностью.

Доказано, что, когда нас в лабораторных условиях полностью лишают релевантной сенсорной информации, мы не в состоянии обнаружить и присутствие другого человека у себя за спиной, а уж тем более его взгляд. Но в реальном мире таким лишениям нас никто не подвергает. Мы можем замечать объекты и движение краем глаза, так что это даже не является частью сознательного восприятия. Когда же событие происходит полностью вне поля нашего зрения, мы часто чувствуем иные подсказки – звуки разговора на повышенных или пониженных тонах, изменение давления воздуха при открывании входной двери. Важно то, что нам не нужно сознательно реагировать на эти сенсорные подсказки – они и так влияют на наше восприятие. Как и в случае с фантомными вибрациями, когда мы слышим, как внезапно прекратился разговор, изменился ритм или звук позади нас, когда мы чувствуем легкий ветерок, сопровождающий открывание двери, наш мозг на основании предыдущего опыта делает пред-

[155] Если бы Шекспир жил в наши дни и захотел затронуть вопрос загадочных осязательных ощущений, он бы, возможно, написал:Дрожанье чую телефона,Хотя его забыл я дома.

положение и порождает тактильное ощущение там, где на самом деле его быть не должно. В моем случае этим и объяснялось покалывание в затылке.

В случае глубоко эмоционального, противоречащего здравому смыслу, приводящего в восторг или ужас опыта люди обычно пытаются искать сверхъестественное объяснение. Осязание эмоционально по самой своей природе, поэтому осязательный опыт часто подвергается таким попыткам объяснения. Но для толкования загадочных или трансцендентных осязательных ощущений ничего сверхъестественного не требуется.

Идет ли речь об ощущении электрического разряда при романтических любовных ощущениях, о тревожащем подозрении в том, что за вами следят, об облегчении боли посредством восточных практик или о тех прикосновениях, которые необходимы для нормального развития новорожденных и достижения чувства сплоченности в обществе, трансцендентный аспект осязания – прежде всего в нашем понимании того, что эти ощущения – результат изменений в нашей коже, нервах и головном мозге. В целом биология осязания учит нас, что естественное столь же человечно и гуманно, как и сверхъестественное.

Благодарности

Читатель спросит: «Дэвид, выявили ли вы в своих исследованиях осязания, что…»

И я в ответ проблею: «Э-э-э, ну, понимаете…»

Вопрос резонный. Я – исследователь мозга, я написал книгу об осязании, так что логично предположить, что я занимаюсь у себя в лаборатории исследованиями осязания. На самом деле это не так. Я работаю над множеством интереснейших вещей – от упражнений памяти до восстановления функций мозга при его повреждении. Но я – не исследователь осязания. Я скорее считаю себя послом страны неврологии, который должен передать слова мира из глубины этого континента. Впрочем, посол – это слишком важный титул. На самом деле я написал эту книгу, потому что уже много лет числюсь ярым фанатом исследований осязания, начиная со своей *alma mater* – медицинской школы Университета Джона Хопкинса. Сначала меня заинтересовала основополагающая работа Стивена Сяо и Кеннета Джонсона (оба они – ученики легендарного исследователя осязания Вернона Маунткасла) о нейронной основе различения текстуры и формы. Затем великолепные строгие эксперименты Дэвида Гинти и его коллег, связанные с молекулярной идентификацией осязательных рецепторов, вывели анализ тактильных ощущений на совершенно новый уровень, как и генетические и молекулярные соображения Майкла Катерины и Синьчжона Дона относительно боли, температуры и зуда. А недавно появились работы молодого ученого Дэниела О'Коннора, посвященные связи осязания с принятием решений. Я благодарен всем этим ученым – замечательным, талантливым и отзывчивым исследователям – за то, что они подсадили и меня на эту тему. Кроме того, меня всячески поддерживали исследователи осязания по всему миру, которые, конечно, помогали и советами. Спасибо всем, кто нашел время пообщаться в кулуарах конференций или ответить на ночные электронные письма.

Всегда приятно, когда на твоей стороне эксперты. Стивен Сяо, Саша дю Лак, Дэниел О'Коннор, Майкл Катерина, Дэвид Гинти и Синьчжон Дон тщательно и конструктивно отрецензировали первые черновики моей рукописи. Я благодарен и обычным читателям, которые помогали мне добиться большей ясности, предупреждали, когда изложение получалось слишком наукообразным, и совершенно справедливо требовали, чтобы я исключил самые глупые и оскорбительные истории (не судите их за то, что в итоге все-таки уцелели). Я выражаю огромную благодарность Мэрион Виник, Кейт Сэнфорд, Джону Лейну и Лоре Колсон-Шрер.

Низкий поклон профессионалам из издательства. Еще раз благодарю Джоан Тикко за прекрасные четкие иллюстрации. Рик Кот, джентльмен среди редакторов, ловко и с большим тактом применял скальпель, зонд и раневой крючок. А Римджхим Дей – возможно, лучший рекламный агент в мире. У нее острый ум и удивительная способность заставлять людей чувствовать себя значимыми и счастливыми, когда она им чем-то надоедает. Спасибо Эндрю Уайли, Люку Ингрэму и всем ребятам из *Wylie Agency* за надежный тыл.

С одной стороны, эта книга родом из семинарских аудиторий Университета Джона Хопкинса, но с другой – из моего собственного соматического опыта. Спасибо З. за годы преобразующих любовных прикосновений и моим тактильным близнецам Натали и Джейкобу, которые начали обниматься еще при рождении и пока, к счастью, не перестали.

Об авторе



ДЭВИД ЛИНДЕН – профессор неврологии медицинской школы исследовательского университета Джонса Хопкинса в Балтиморе, штат Мэриленд. Автор популярных, отмеченных призами и переведенных на более чем двадцать языков книг «Случайный разум» (Accidental Mind) и «Компас удовольствий» (The Compass of Pleasures). В течение многих лет был главным редактором «Журнала нейрофизиологии».

Живет в Балтиморе.